

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки – Нефтегазовое дело
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение нефтегазового дела

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование реологических параметров жидкостей ГРП после обработки различными деструкторами

УДК 665.61.035.6:622.276.66

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ73	Губарев Максим Игоревич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Глотова В.Н.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Романюк В.Б.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент отделения общетехнических дисциплин	Черемискина М.С.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Ковалев А.В.	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения <i>прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем</i> , соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики).
P2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные <i>исследования</i> с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в <i>сложных и неопределённых условиях</i> ; использовать <i>принципы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности</i> .
P3	Проявлять профессиональную <i>осведомленность о передовых знаниях и открытиях</i> в области нефтегазовых технологий с учетом <i>передового отечественного и зарубежного опыта</i> ; использовать <i>инновационный подход</i> при разработке новых идей и методов <i>проектирования</i> объектов нефтегазового комплекса для <i>решения инженерных задач</i> развития нефтегазовых технологий, <i>модернизации и усовершенствования</i> нефтегазового производства.
P4	<i>Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы</i> для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила <i>охраны здоровья и безопасности труда</i> , выполнять требования по <i>защите окружающей среды</i> .
P5	Быстро ориентироваться и выбирать <i>оптимальные решения в многофакторных ситуациях</i> , владеть методами и средствами <i>математического моделирования</i> технологических процессов и объектов.
P6	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при <i>разработке и реализации проектов</i> , проводить <i>экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность</i> .
P7	Эффективно работать <i>индивидуально</i> , в качестве <i>члена и руководителя команды</i> , умение формировать задания и <i>оперативные планы</i> всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести <i>ответственность за результаты работы</i> .
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности; активно <i>владеть иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки – Нефтегазовое дело
Отделение школы (НОЦ) – Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ73	Губареву Максиму Игоревичу

Тема работы:

Исследование реологических параметров жидкостей ГРП после обработки различными деструкторами	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p>	<p>Объект исследования: процесс деструкции сшитого геля гидроразрыва</p> <p>Область применения: системы жидкостей гидроразрыва/системы для повторной обработки</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1 Литературный обзор</p> <p>1.1 Гидравлический разрыв пласта как метод повышения проницаемости призабойной зоны пласта</p> <p>1.2 Факторы, влияющие на эффективность проведения ГРП</p> <p>1.3 Виды жидкостей разрыва, применяемых при ГРП</p> <p>1.4 Компоненты, входящие в состав жидкостей разрыва на водной основе</p> <p>1.5 Свойства жидкостей разрыва на водной основе</p>

	1.6 Существующие процессы деструкции полимерной составляющей жидкостей ГРП 1.7 Экологические аспекты проведения ГРП 2 Методика проведения исследований 2.1 Рецепт жидкости ГРП 2.2 Приготовление жидкости ГРП 2.3 Контроль реологических параметров жидкости ГРП до и после обработки деструкторами 2.4 Обработка полученных экспериментальных данных 3 Экспериментальная часть 3.1 Эксперименты при высоких значениях частот вращения рабочей части измерительного прибора 3.2 Результаты экспериментов по определению степени деструкции жидкости ГРП после её обработки различными брейкерами 3.3 Выводы по экспериментальной части
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Необходимость в графических материалах отсутствует
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент отделения нефтегазового дела, к.э.н., Романюк В.Б.
Социальная ответственность	Ассистент отделения общетехнических дисциплин Черемискина М.С.
Часть на иностранном языке	Старший преподаватель отделения иностранных языков Лысунец Т.Б.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Existing processes of destruction of water based hydraulic fracturing fluids	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Глотова В.Н.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ73	Губарев Максим Игоревич		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки (специальность) – Нефтегазовое дело
Уровень образования – магистратура
Отделение школы (НОЦ) – Отделение нефтегазового дела
Период выполнения – осенний / весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06-07.06.2019
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01 марта 2019	1. Проведение литературного обзора по теме	20
10 марта 2019	2. Утверждение методики проведения исследований и обработки данных	5
30 апреля 2019	3. Проведение экспериментов по оценке влияния различных деструкторов полимерных реагентов на реологические свойства жидкостей ГРП	10
06 мая 2019	4. Анализ полученных экспериментальных данных, промежуточная аттестация выполнения диссертации	5
23 мая 2019	5. Предварительная защита диссертации	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Глотова Валентина Николаевна	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Ковалев Артем Владимирович	К.Т.Н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ73	Губареву Максиму Игоревичу

Инженерная школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	Нефтегазового дела
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Работа с информацией, представленной в аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах 2. Подбор методики расчета показателей 3. Выбор исходных данных, в том числе: норм расхода материалов, тарифных ставок заработной платы, а также размера страховых отчислений
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	SWOT-анализ проекта
2. Планирование и формирование графика научно-исследовательской работы	Линейный календарный график выполнения работы
3. Планирование и формирование бюджета научно-исследовательской работы	1. Материальные затраты научно – технического исследования (НТИ) 2. Основная заработная плата исполнителей темы 3. Дополнительная заработная плата исполнителей темы 4. Отчисления на социальные нужды 5. Бюджет НТИ

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. Линейный календарный график проведения НТИ
3. Бюджет НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Романюк В.Б.	к.э.н, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ73	Губарев Максим Игоревич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ73	Губареву Максиму Игоревичу

Инженерная школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	Нефтегазового дела
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1 Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.

На заключительном этапе проведения операции гидравлического разрыва продуктивного пласта (ГРП) имеет место проблема удаления жидкости гидроразрыва на основе полимерных реагентов, сшитых боратами, из полости вновь образованной трещины ГРП, так как данная жидкость характеризуется крайне высокими значениями вязкости. К тому же с течением времени, а также под действием пластовых условий жидкость гидроразрыва подвергается обезвоживанию, при этом возможна коагуляция полостей в проппантных пачках, заполняющих трещины ГРП, вновь образованными сверхвязкими полимерными сгустками. Поэтому, в качестве объекта исследования выбран процесс разрушения полимерной составляющей жидкости ГРП. В процессе проведения экспериментов рабочей зоной является лаборатория.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.
1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователей.

Рассмотреть нормы охраны труда для работника лаборатории, а также нормы по компоновке рабочего места в лаборатории.

2 Производственная безопасность

2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.
2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.
2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов.

Проанализировать вредные факторы:
– пониженная влажность воздуха;
– температура воздуха в лаборатории;
– отсутствие или недостаток естественного света;
– недостаточная освещенность рабочей зоны;
– загазованность воздуха рабочей среды;
– повышенная температура поверхности оборудования.
Проанализировать опасные факторы:
– химические (раздражающие и токсические);
– электрический ток.
Рассмотреть источники опасностей, воздействие на человека, нормирование, мероприятия по защите от данных факторов.

3 Экологическая безопасность

Влияние объекта исследования на литосферу:

<p>3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.</p> <p>3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.</p> <p>3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.</p>	<p>– химическое загрязнения почв в результате разлива химикатов.</p> <p>Влияние объекта исследования на гидросферу:</p> <p>– рост концентрации ионов тяжелых металлов в поверхностных водах в результате воздействия химических реагентов на почву и ее составляющие.</p> <p>Влияние объекта исследования на атмосферу:</p> <p>– испарения кислот.</p> <p>Влияние процесса исследования на окружающую среду выражены также загрязнением водных ресурсов и почв.</p> <p>Рассмотреть влияние вышеописанных факторов на окружающую среду и предложить возможные мероприятия и средства защиты окружающей среды от данных факторов.</p>
<p>4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <p>4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследования.</p> <p>4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.</p> <p>4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС.</p>	<p>В качестве наиболее распространенной ЧС в лаборатории принимается пожар. Необходимо описать возможные причины данной ЧС, рассмотреть мероприятия по предотвращению ЧС, а также составить план действий на случай, если ЧС уже случилась.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Черемискина М.С.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ73	Губарев Максим Игоревич		

Реферат

Магистерская диссертация содержит 130 страниц, 24 рисунка, 27 таблиц, 47 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: гидравлический разрыв пласта (ГРП), призабойная зона пласта (ПЗП), загрязнение проппантной пачки, брейкеры, деструкция полимерной составляющей рабочей жидкости ГРП, процессы деструкции.

Объектом исследования является процесс деструкции сшитого геля ГРП.

Цель работы – исследование реологических параметров жидкостей ГРП после обработки их различными деструкторами и выбор наиболее эффективного типа брейкера.

Задачи работы:

- произвести литературный обзор источников по установленной теме диссертации:

- а) обозначить контролируемые в работе реологические параметры жидкостей ГРП;

- б) выявить разновидности деструкторов, применяемых при обработках жидкостей ГРП, отметить их достоинства и недостатки;

- определить методику проведения экспериментальной части работы;
 - произвести серию экспериментов с принятыми деструкторами;
 - обработать полученные массивы экспериментальных данных (представить данные в графическом виде, произвести их анализ);
 - сделать выводы по работе.

В данной магистерской диссертации рассмотрены основные факторы, приводящие к загрязнению проппантной пачки в процессе операции ГРП. Изучены существующие методы борьбы с недоразрушением полимерной составляющей рабочей жидкости ГРП. Также описана методика проведенных экспериментов, произведена обработка массивов экспериментальных данных, а также их представление в графическом виде.

Оглавление

Введение	14
1 Литературный обзор.....	16
1.1 Гидравлический разрыв пласта как метод повышения проницаемости призабойной зоны пласта	16
1.2 Факторы, влияющие на эффективность проведения ГРП.....	17
1.3 Виды жидкостей разрыва, применяемых при ГРП.....	18
1.3.1 Жидкости разрыва на водной основе	18
1.3.2. Жидкости разрыва на углеводородной (нефтяной) основе.....	18
1.3.3 Жидкости разрыва на основе многофазных смесей	19
1.3.3.1 Эмульсионные системы	19
1.3.3.2 Пенные системы	20
1.4 Компоненты, входящие в состав жидкостей разрыва на водной основе ...	20
1.4.1 Гуар и его производные	20
1.4.2 Сшиватели жидкости разрыва	21
1.4.3 Деструкторы (брейкеры).....	23
1.4.4 Стабилизаторы	24
1.4.5 Бактерициды	24
1.4.6 Ингибиторы глин.....	25
1.4.7 Буферы и регуляторы pH	25
1.5 Свойства жидкостей разрыва на водной основе.....	25
1.5.1 Способность удерживать и транспортировать проппант	26
1.5.2 Эффективность жидкости разрыва и контроль водоотдачи	26
1.5.3 Потери давления на трение.....	27
1.5.4 Совместимость с горными породами и пластовыми флюидами	27
1.5.5 Удаление жидкости разрыва из трещины	28
1.6 Существующие процессы деструкции полимерной составляющей жидкостей ГРП.....	28
1.6.1 Влияние типа применяемой жидкости разрыва на проницаемость проппантной пачки и продуктивного пласта.....	29
1.6.1.1 Кольматация порового пространства проппантной пачки при проведении ГРП с использованием жидкостей разрыва на водной основе	29

1.6.1.2 Кольматация порового пространства пропантной пачки при проведении ГРП с использованием жидкостей разрыва на углеводородной основе	30
1.6.2 Выявление процессов физической и химической деструкции полимерной составляющей жидкостей ГРП	31
1.6.2.1 Физическая деструкция.....	31
1.6.2.1.1 Термическая деструкция	31
1.6.2.1.2 Механическая деструкция	31
1.6.2.1.3 Фотодеструкция.....	33
1.6.2.1.4 Радиационная деструкция	33
1.6.2.2 Химическая деструкция	34
1.6.2.2.1 Деструкция при обработке неорганическими и органическими кислотами	34
1.6.2.2.2 Деструкция при добавлении окислителей	35
1.6.2.2.3 Деструкция под действием энзимов.....	37
1.6.2.2.4 Деструкция под влиянием биологических организмов.....	40
1.6.3 Эффективность процессов деструкции	41
1.6.3.1 Оценка процессов физической деструкции	41
1.6.3.2 Оценка процессов химической деструкции	42
1.6.3.3 Выбор наиболее эффективных процессов деструкции из ранее рассмотренных	44
1.7 Экологические аспекты проведения ГРП	45
1.8 Заключение по литературному обзору.....	48
2 Методика проведения исследований	50
2.1 Рецепт жидкости ГРП.....	50
2.2 Приготовление жидкости ГРП	51
2.3 Контроль реологических параметров жидкости ГРП до и после обработки деструкторами	53
2.4 Обработка полученных экспериментальных данных.....	56
3 Экспериментальная часть	57
3.1 Результаты экспериментов при высоких значениях частот вращения рабочей части измерительного прибора с введением дополнительного температурного фактора.....	57

3.2 Результаты экспериментов по определению степени деструкции жидкости ГРП после её обработки различными брейкерами	57
3.2.1 Применение лимонной кислоты	57
3.2.1.1 Применение лимонной кислоты без смешивания с иными деструкторами	58
3.2.1.2 Применение смеси лимонной кислоты и перекиси водорода	58
3.2.1.3 Применение смеси лимонной кислоты и перкарбоната натрия	59
3.2.2 Применение гликолевой кислоты	60
3.2.3 Применение молочной кислоты	60
3.2.3.1 Применение молочной кислоты производства фирмы M.C.D. Import & Export GmbH	60
3.2.3.2 Применение молочной кислоты производства фирмы Sigma Aldrich	61
3.2.4 Применение уксусной кислоты	62
3.3 Выводы по экспериментальной части	62
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	65
4.1 SWOT-анализ	65
4.2 Планирование научно-исследовательской работы	66
4.2.1 Структура работы в рамках научного исследования	66
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	68
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	69
4.2.4 Бюджет научно-технического исследования	71
4.2.4.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	71
4.2.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы	71
4.2.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	73
4.2.4.4 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	74
4.2.5 Оценка эффективности применения различных брейкерных систем ..	74
5 Социальная ответственность	76
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	77
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства	77
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	77

5.2 Профессиональная социальная безопасность	78
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	79
5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лабораторном помещении при проведении исследований	80
5.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	85
5.3 Экологическая безопасность	86
5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	86
5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	87
5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	88
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	89
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	89
5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований	89
5.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	89
Заключение	93
Список использованных источников	95
Приложение А	100
Приложение Б	108
Приложение В	114

Введение

В настоящее время в разработку активно вовлекаются трудноизвлекаемые запасы углеводородов, приуроченные к низкопроницаемым, слабодренируемым, неоднородным и расчлененным коллекторам. Гидравлический разрыв пласта является одним из наиболее эффективных методов повышения производительности добывающих и нагнетательных скважин, вскрывающих подобные пласты.

Однако, в процессе проведения ГРП возникает следующая проблема: неполное разрушение сшитого геля (недоразрушение жидкости разрыва) перед его удалением из трещины ГРП.

Данная проблема обусловлена рядом причин:

- в качестве брейкеров (деструкторов) выбираются вещества с недостаточной разрушающей способностью;
- деструкторы должны вводиться в другой концентрации;
- имеется несоблюдение рабочих условий, при которых брейкер будет эффективно разрушать сшитый гель (пластовая температура, pH реакционной среды);
- отклонение от рецептуры жидкости разрыва, что ведет к изменению её свойств (например, рост фильтрации и образование сгустков полимера).

Весомый вклад в решение поставленной проблемы внесли следующие исследователи: Магадова Л.А., Силин М.А., Фёдорова Л.А., Ефанова О.Ю., Малкин Д.Н., Никитин А.Н., Сахибгараев Р.Р., Шумилкина О.В., Базаревская В.Г., Крисанова П.К., Бородин С.А., Walker M. L., Shuchart C. E., Yaritz J. G., Norman L. R., Conway M.W., Hutchins R. E., Cheng Y., Prud'homme R. K., Reza Barati Ghahfarokhi, Economides M. J., Weaver J., Rae P., Lullo G, Shamsheer Mahammad, Comfort Donald A., Kelly Robert M.

Исходя из этого, можно сказать, что выбор наиболее эффективного типа деструктора для конкретных условий его применения является важным разделом в проектировании гидроразрыва пласта. Все приведенные выше сведения

позволяют говорить об актуальности исследований, производимых в данной работе.

Цель работы: исследование реологических параметров жидкостей ГРП после обработки их различными деструкторами и выбор наиболее эффективного типа брейкера.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- произвести литературный обзор источников по установленной теме диссертации:

- в) обозначить контролируемые в работе реологические параметры жидкостей ГРП;

- г) выявить разновидности деструкторов, применяемых при обработках жидкостей ГРП, отметить их достоинства и недостатки;

- определить методику проведения экспериментальной части работы;
- произвести серию экспериментов с принятыми деструкторами;
- обработать полученные массивы экспериментальных данных (представить данные в графическом виде, произвести их анализ);
- сделать выводы по работе.

Объектом исследования будет являться процесс деструкции сшитого геля ГРП. Предметом исследования выбраны различные разновидности брейкеров.

Научная новизна – составлена таблица сравнения различных разновидностей процессов деструкции, а также произведена оценка эффективности их применения. Результаты экспериментов по обработке жидкостей ГРП различными деструкторами и их комбинациями представлены в графическом виде.

1 Литературный обзор

1.1 Гидравлический разрыв пласта как метод повышения проницаемости призабойной зоны пласта

На сегодняшний день гидравлический разрыв пласта является одним из самых эффективных методов интенсификации притока и повышения нефтеотдачи пласта.

ГРП применяется в скважинах:

- давших при опробовании слабый приток;
- с высоким пластовым давлением, но с низкой проницаемостью коллектора;
- с загрязненной призабойной зоной;
- с заниженной продуктивностью;
- с высоким газовым фактором (по сравнению с окружающими);
- нагнетательных с низкой приёмистостью;
- нагнетательных для расширения интервала поглощения.

Гидравлический разрыв пласта можно рассматривать как гидромеханический метод воздействия на продуктивный пласт, при котором порода разрывается по плоскостям минимальных напряжений горного давления в результате воздействия на пласт давления, создаваемого закачкой жидкости разрыва [1, 2].

После разрыва пласта за счет продолжающейся закачки жидкости образовавшаяся трещина увеличивается в размерах, далее этой же жидкостью транспортируется в трещину расклинивающий агент, называемый проппантом. Он удерживает трещину в раскрытом состоянии после снятия избыточного давления.

Таким образом, за счет созданной трещины расширяется область пласта, дренируемая скважиной, подключаются ранее не участвовавшие в разработке части залежи, создается высокопроводящий канал для поступления флюида в скважину. Это позволяет увеличить дебит скважины в несколько раз, увеличить

коэффициент извлечения, тем самым перевести часть забалансовых запасов в промышленные [1].

Однако, гидроразрыв пласта не только высокоэффективная, но также и высокотехнологичная операция, успех которой зависит от множества факторов, не последним из которых является применяемая жидкость разрыва.

К технологическим жидкостям для гидроразрыва пласта предъявляется немало требований. Прежде всего, большая протяженность трещин должна обеспечиваться минимально необходимым количеством жидкости. Её вязкость должна гарантировать высокую несущую способность песка либо проппанта, достаточную для транспортировки и равномерного размещения в трещине гидроразрыва расклинивающего материала и создания заданной раскрытости трещин [2].

Так же жидкость разрыва должна обладать низким гидравлическим сопротивлением и достаточной сдвиговой устойчивостью, чтобы обеспечить максимально возможную в конкретных геолого-технических условиях скорость нагнетания, обладать регулируемой способностью к деградации в пластовых условиях. При этом не должен образовываться нерастворимый осадок, который снижает проводимость пласта и не дает расклинивающему материалу должным образом распределиться в трещине гидроразрыва [1, 2].

1.2 Факторы, влияющие на эффективность проведения ГРП

Важнейшим фактором успешности ГРП является правильный выбор жидкости разрыва и проппанта. Жидкость разрыва передает с устья скважины на забой энергию, необходимую для разрыва породы и переноса проппанта вдоль ствола скважины и вдоль всей длины трещины [3, 4].

Основные характеристики системы «жидкость разрыва – проппант» [4, 5]:

- реологические свойства жидкости без проппанта и с проппантом;
- фильтрационные свойства жидкости, которые определяют её утечки в пласт в ходе гидроразрыва и при переносе проппанта вдоль трещины;
- способность жидкости обеспечить перенос проппанта к концам трещины во взвешенном состоянии, без его преждевременного осаждения;

- возможность легкого и быстрого выноса жидкости гидроразрыва для обеспечения минимального загрязнения упаковки проппанта и окружающего пласта;
- совместимость жидкости разрыва с различными добавками, предусмотренными технологией, возможными примесями и пластовыми флюидами;
- физические свойства проппанта.

1.3 Виды жидкостей разрыва, применяемых при ГРП

1.3.1 Жидкости разрыва на водной основе

Около 80% ГРП в настоящее время проводятся с использованием жидкостей на водной основе. Перед проведением ГРП в жидкость добавляются различные химические реагенты, обеспечивающие необходимые ее свойства. Жидкости на водной основе универсальны и имеют множество преимуществ. Преимущества и недостатки жидкостей на водной основе представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки жидкостей разрыва на водной основе

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> – доступность компонентов – низкая стоимость – применимость как в нефтяных, так и в газовых пластах – гибкий химический состав – эффективная деградация при любых температурах – относительная легкость смешивания и закачки – безопасность в использовании 	<ul style="list-style-type: none"> – потенциальная опасность для некоторых пород даже при использовании KCl или стабилизаторов глин – потенциальная опасность для некоторых нефтенасыщенных пород вследствие образования вторичных эмульсий – ограниченность снабжения водой в удаленных местностях

1.3.2. Жидкости разрыва на углеводородной (нефтяной) основе

На сегодняшний день около 10% ГРП осуществляются с применением жидкостей на нефтяной основе. Жидкости на нефтяной основе, используемые в настоящее время, значительно усовершенствованы, и их использование

признано эффективным во многих частях мира. Дегазированная сырая нефть и конденсат все еще используются при проведении ГРП на некоторых территориях, однако, предпочтительнее применять дизель или керосин, так как они менее летучие.

Преимущества и недостатки жидкостей разрыва на нефтяной основе представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Преимущества и недостатки жидкостей разрыва на нефтяной основе

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> – совместимость с породами, чувствительными к воде; – эффективность деградации вязкости и легкость извлечения после проведения ГРП; – минимальные требования к утилизации извлеченной жидкости разрыва после проведения ГРП, так как она может быть использована повторно, либо продана. 	<ul style="list-style-type: none"> – безопасность является основным требованием при обслуживании, смешивании и закачке жидкостей на нефтяной основе; – относительно высокая стоимость в удаленных местностях; – относительно высокая стоимость в случае малого процента извлечения жидкости разрыва

1.3.3 Жидкости разрыва на основе многофазных смесей

1.3.3.1 Эмульсионные системы

Стабилизированные водонефтяные эмульсии являются доступными жидкостями для проведения ГРП. Обычно перед приготовлением эмульсии водная фаза загущается при помощи полимеров. Затем углеводороды (обычно дизель или керосин) смешиваются с загущенной водой. Полиэмульсии, используемые в настоящее время, являются прямыми (капельки нефти диспергированы в непрерывной водной фазе). Изменение водонефтяного фактора может повлиять на свойства полиэмульсионного флюида. На практике используются отношения фаз 50/50, 60/40 и 70/30 [18].

Эмульгированные кислотные системы используются при кислотном ГРП. В зависимости от эмульгированной кислоты и границ применения ее тип может быть как прямой, так и обратный. Диспергирование нефти в загущенной кислоте ведет к замедлению химической реакции (важно в глубоких скважинах с высокой температурой). Потери давления на трение эмульгированной кислоты (особенно обратной эмульсии) относительно сравнимы с потерями загущенных полимерных кислот. Эмульгированная кислота обеспечивает более лучший

контроль водоотдачи, чем загущенные кислоты, которые выгодны лишь в некоторых случаях их применения.

1.3.3.2 Пенные системы

Иногда в жидкости ГРП добавляют азот или двуокись углерода (CO_2) для облегчения ее выноса на поверхность. Некоторые пласты с низким давлением реагируют на применение пен в качестве жидкости разрыва, которая на 60-70% состоит из газа, на 30-40% из воды (или нефти) и содержит вспенивающие ПАВ. При извлечении жидкости разрыва применяют не только пены для снижения ее плотности, но и меньший ее объем, обеспечивающий меньший контакт с породой и меньшее ее количество для извлечения.

Невспенивающий газ редко используется для облегчения выноса жидкости разрыва на поверхность при очистке скважины после ГРП. Для повышения эффективности применения пен скважина должна быть открыта сразу после проведения ГРП, так как газ еще растворен в жидкости и не выделяется из нее [18].

1.4 Компоненты, входящие в состав жидкостей разрыва на водной основе

1.4.1 Гуар и его производные

Гуар, состоящий из маннозы и галактозы, представляет собой полимер с длинной цепью и значительной молекулярной массой [5, 9]. Основная роль данного полимера в составе жидкости разрыва на водной основе состоит в её загущении и увеличении вязкости с целью эффективности транспортировки проппанта в трещину. Возможные концентрации этого компонента в различных рецептурах жидкостей разрыва составляют 0,12 – 0,96 % (масс.), что обосновано различными горно-геологическими условиями, в которых проводятся операции ГРП [6, 9]. Структура гуара приведена на рисунке 1.

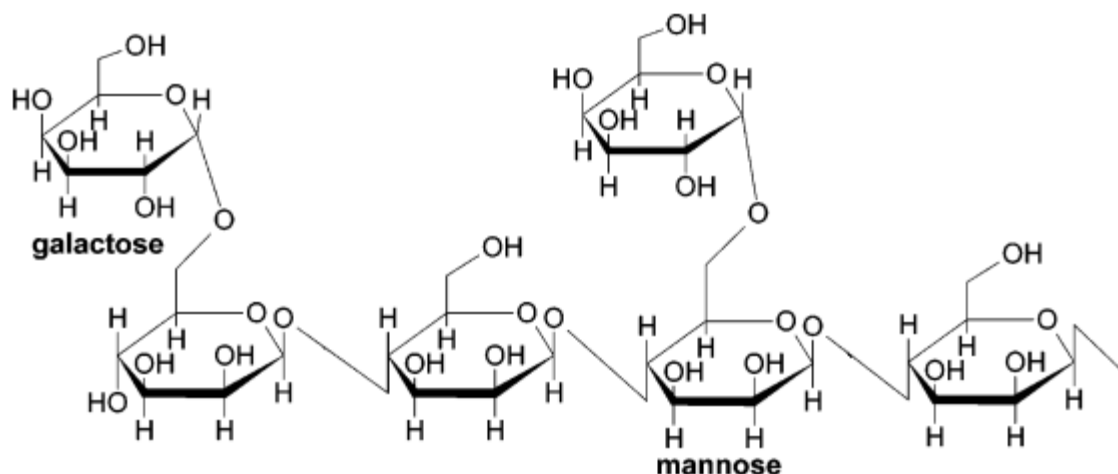


Рисунок 1 – Структура гуара

Как видно из рисунка 1 в основе структуры гуара находится полиманнозная цепь, а галактоза выступает в качестве ответвлений от неё. Weaver et al. [7] в своей работе приходят к выводу о том, что в случае последовательного соединения шести и более маннозных элементов будет образовываться полиманнозная спираль, которая нерастворима. При этом в смеси ожидается наличие от 6 до 10 % (масс.) осадка, представляющего собой нерастворенный гуар [5, 9]. Наличие данного осадка влечет за собой негативное воздействие на пропантную пачку. Деструкторы жидкости разрыва являются причиной возникновения дополнительного осадка. Оба этих типа осадка снижают проницаемость и проводимость пропантной пачки [7, 9].

Частичным решением данной проблемы является применение полимеров, являющихся производными гуара. К их числу можно отнести гидроксипропилгуар (ГПГ) и карбоксиметилгидроксипропилгуар (КМГПГ). Применение производных гуара позволяет снизить величину нерастворимого осадка до 2 – 4 % (масс.) [5, 7].

1.4.2 Сшиватели жидкости разрыва

Для сшивания водорастворимых полимеров применяются соединения бора, титана, циркония, алюминия, хрома, марганца и меди. Сшивание происходит через пары ОН-групп на боковых галактозных ответвлениях гуара. В результате сшивания реологические свойства гуара становятся более подходящими для целей гидроразрыва пласта. Применимость различных

сшивателей ограничена определенными значениями pH, температурными диапазонами, а также типом сшиваемого полимера [5, 6, 9].

Процесс сшивания может быть замедлен с целью минимизации поверхностных давлений в начале закачки жидкости разрыва в скважину. Одним из способов замедления сшивания является повышение pH жидкости разрыва [5, 6, 9].

Robert et al. [6] применили для сшивания гуара боракс (декагидрат тетрабората натрия) и борную кислоту в смеси с каустической содой. Диапазон концентраций данных реагентов, применимых для различных условий гидроразрыва, составляет 0,024 – 0,35 % (масс.) [6]. При проведении гидроразрыва в условиях повышенных температур, либо для создания обязательной задержки сшивания могут использоваться колеманит и улексит. Независимо от формы вводимого боратного сшивателя, основным действующим веществом является моноборат, который взаимодействует с OH-группами на боковых ответвлениях гуара. Процесс сшивания представлен на рисунке 2.

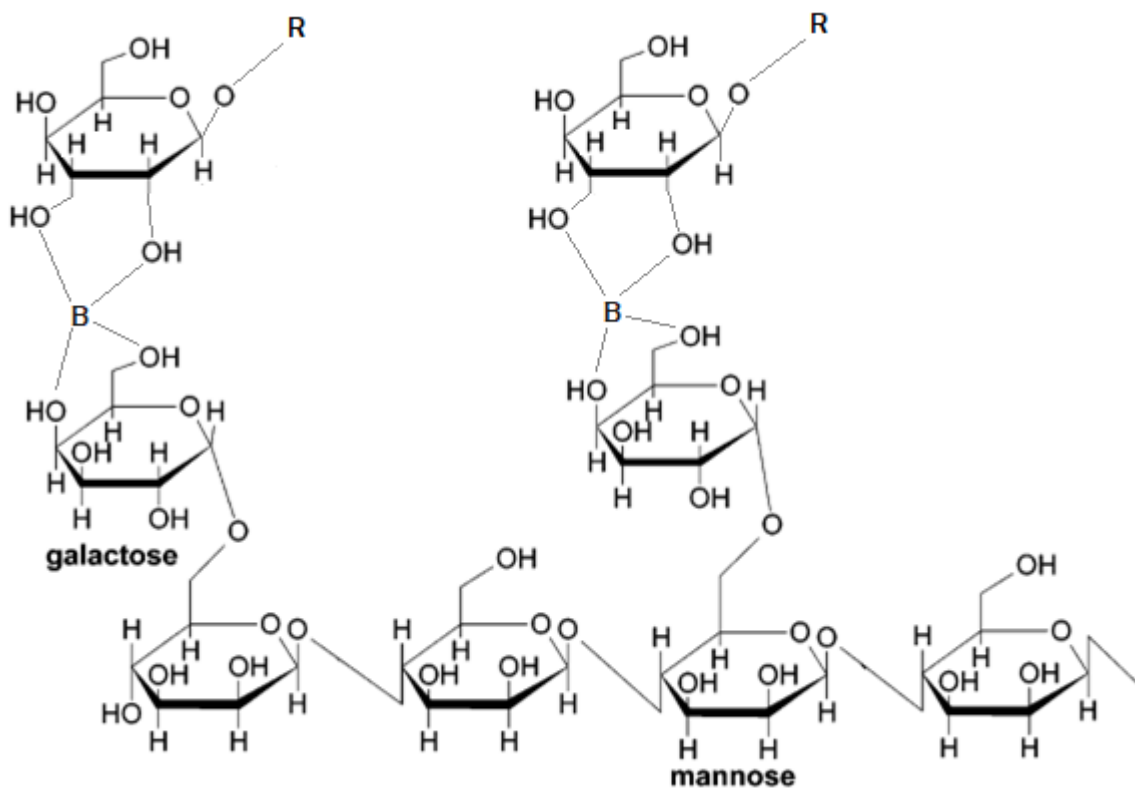


Рисунок 2 – Процесс сшивания гуара

Альтернативные варианты сшивателей на необратной основе применяются в случаях, когда имеют место такие диапазоны температур и pH, в которых применение сшивателей на основе боратов невозможно [5, 9]. Однако, исследователи в работе [8] отмечают, что применение необратных сшивателей ведет к получению меньшей остаточной проводимости проппантной пачки в сравнении с системами на основе боратов.

Сшитые гели лишены недостатков, присущих несшитым вязким растворам полимеров. Их высокая песконесущая способность позволяет переносить расклинивающий материал различной степени дисперсности и плотности с высокой концентрацией, создавать широкие и длинные трещины, равномерно заполняя их расклинивающим материалом. Фильтрация сшитых гелей в пласт невысока, повреждение пласта вследствие набухания глинистых частиц минимально [1, 4, 10].

1.4.3 Деструкторы (брейкеры)

Для обеспечения высокой проводимости проппантной пачки жидкость разрыва, а также полимерная фильтрационная корка, возникающая в процессе ГРП, должны быть разрушены. С этой целью в состав жидкости разрыва добавляются деструкторы. Деструкторы разрушают полимеры на несколько частей с меньшим молекулярным весом. В зависимости от условий проведения ГРП, в качестве деструкторов могут применяться кислоты, окислители, энзимы.

Действие растворов кислот основано на процессах гидролиза. Диапазон температурных границ применимости данного типа брейкеров находится в пределах от 45 до 120 °С. Однако, применение неорганических кислот приводит к активной коррозии оборудования и образованию значительной массы нерастворимого осадка при контакте с полимером и породами пласта. Также необходимо учитывать, что кислоты разрушают проппант, за счет чего они могут оказать негативное влияние на проводимость полученной трещины [11].

Окислители являются наиболее распространенным типом брейкеров. К их числу относятся перкарбонат натрия, персульфат калия, гипохлорит натрия, пероксид мочевины, перманганат калия, а также перекись водорода. Для

окислителей характерно замедленное протекание процесса разрушения сшитых гелей при температурах, меньших 50 °С [5]. Соответственно, при более высоких температурах химическая активность окислителей возрастает.

Применение энзимов в качестве деструкторов жидкости ГРП сопровождается уменьшением молекулярной массы гуара. Стоит также отметить тот факт, что, в отличие от других типов деструкторов, энзимы не расходуются в процессе разрушения. У данных брейкеров имеются и недостатки: они подвергаются денатурации в случае воздействия высоких температур и очень щелочных сред [5, 9, 12].

Для того, чтобы избежать преждевременного разрушения жидкости разрыва, брейкеры вводятся в них в инкапсулированном виде [8]. Это позволяет значительно увеличить их концентрацию в составе жидкости разрыва и, тем самым, добиться более полного разрушения в необходимый момент времени.

1.4.4 Стабилизаторы

Разложение сшитых гелей на основе гуара под действием высоких температур предупреждается путем введения в их состав стабилизаторов. В работах [13, 14] в качестве наиболее эффективного стабилизатора рекомендуется применять тиосульфат натрия. Economides et al. [5] указывают в своей работе, что стабилизаторы выступают в роли поглотителя кислорода, растворенного в жидкости разрыва, препятствуя этим деградации сшитого геля. Эти же авторы отмечают, что для случаев, когда требуется длительная стабильность жидкости разрыва, следует применять жидкости с высоким значением pH (от 9 до 11), так как при низких значениях pH и температурах более 90°С гуар и его производные подвержены гидролизу.

1.4.5 Бактерициды

Для предупреждения биодеструкции гуара бактериями в состав жидкости ГРП входят бактерициды [9, 15]. Помимо того, что в процессе биодеструкции бактерии уменьшают молекулярную массу полимера, их наличие в пласте связано с образованием сероводорода. Добавление бактерицидов в состав жидкости разрыва приводит к гибели бактерий, однако, не способствует

нейтрализации ферментов, которые уже были произведены бактериями до этого момента. Поэтому, следует добавлять бактерициды в емкости гидроразрыва перед добавлением воды [5, 9, 16, 17].

1.4.6 Ингибиторы глин

Ингибиторы глин представляют собой соли, например, хлорид аммония NH_4Cl или хлорид калия KCl . Диапазон концентраций, применяемых в рецептурах жидкостей ГРП, составляет от 1 до 3 % (масс.). Добавление данных веществ в состав жидкости гидроразрыва на водной основе позволяет предотвратить набухание глин, в случае их наличия в обрабатываемых ГРП зонах [5, 9].

1.4.7 Буферы и регуляторы pH

В целях регулировки водородного показателя pH до диапазона значений, соответствующих эффективной работе сшивателей и брейкеров, возможно дополнительное введение регуляторов pH. Наиболее распространенными веществами данного типа являются каустическая сода NaOH (увеличение pH для эффективного сшивания) и соляная кислота HCl (уменьшение pH для эффективной деструкции сшитого геля) [5, 7].

В случае, когда требуется поддерживать значение pH в постоянном диапазоне, применяются буферы. К ним относятся соли слабых кислот с сильными основаниями. Наиболее типичными буферами являются карбонаты натрия и калия (для поддержания высоких значений pH); органические кислоты и их соли, например, уксусная кислота и диацетат натрия применяются для низких значений pH [5, 7].

1.5 Свойства жидкостей разрыва на водной основе

Для соответствия жидкости разрыва своему назначению, она должна обладать следующими свойствами:

- способность удерживать проппант во взвешенном состоянии и транспортировать его в пласт;

- обеспечение требуемой гидравлической ширины трещины (эффективность жидкости разрыва) и низких фильтрационных характеристик (контроль водоотдачи);
- возникновение низких потерь давления на трение в процессе проведения ГРП с целью снижения нагрузки на оборудование;
- совместимость с горными породами, слагающими продуктивный пласт, а также с пластовыми флюидами;
- поддержание стабильности реологических свойств на протяжении всего времени проведения ГРП;
- легкость удаления из пласта после завершения операций ГРП;
- простота приготовления в промышленных условиях;
- экономическая эффективность, выражающаяся в приемлемой стоимости проведения ГРП;
- безопасность в обращении.

1.5.1 Способность удерживать и транспортировать проппант

Необходимым свойством жидкости, используемой при ГРП, является ее способность транспортировать проппант во взвешенном состоянии через поверхностное оборудование, НКТ и перфорационные отверстия в пласт. Способность жидкости транспортировать проппант в основном зависит от ее вязкости, а также размера, плотности и концентрации проппанта.

1.5.2 Эффективность жидкости разрыва и контроль водоотдачи

Во время проведения ГРП очень важно контролировать водоотдачу, так как данный процесс уменьшает длину и ширину трещины, которые могли бы быть созданы с исходным объемом жидкости разрыва. Чем выше скорость фильтрации жидкости в пласт, тем меньше ее эффективность. Эффективность жидкости представляет собой отношение объема трещины к объему закачанной жидкости [18].

Низкая эффективность жидкости может привести к преждевременному экранированию трещины. Когда это происходит, устьевое давление чрезмерно

возрастает, и дальнейшая закачка становится невозможной, поэтому операция прекращается преждевременно.

Фильтрация жидкости в пласт может значительно влиять на проницаемость и проводимость трещины. Высокие потери жидкости могут вызвать снижение проводимости вследствие образования фильтрационной корки на стенках трещины, а также полимерных сгустков в проппантной упаковке. Присутствие любых твердых частиц влечет к снижению проводимости трещины. Данное явление может быть минимизировано с помощью:

- контроля водоотдачи (например, использование сшитых гелей);
- оптимизации концентрации полимерных загустителей;
- использования эффективных разрушителей вязкости.

1.5.3 Потери давления на трение

Более вязкие жидкости обычно создают большие потери давления на трение, чем жидкости, разжижающиеся при сдвиге. Поэтому большинство используемых жидкостей разрыва сшиваются, т.е. в закачиваемый в скважину гель добавляют химически замедленный сшиватель. Процесс сшивания может регулироваться при достижении жидкостью перфорационных отверстий для обеспечения большей вязкости на входе в продуктивный пласт [18].

Процедура отложенного сшивания позволяет закачивать в трещину большее количество проппантной смеси. Закачка значительного количества проппанта дает возможность получить достаточно широкую трещину после её закрытия, что обеспечит поддержание высокой продуктивности скважины [18].

1.5.4 Совместимость с горными породами и пластовыми флюидами

Во время проведения ГРП рабочая жидкость находится в непосредственном контакте с породой и пластовыми флюидами, поэтому очень важно, чтобы она была совместима с породой. При планировании операции ГРП на новых месторождениях проводят лабораторные исследования с использованием образцов керна для определения совместимости используемой жидкости с породой и пластовыми флюидами. Несовместимая жидкость может

вызвать разбухание и миграцию глин, образование эмульсий, а также ухудшение проницаемости и проводимости трещины после проведения ГРП [18].

В большинстве операций ГРП в рабочую жидкость на водной основе добавляют хлорид калия (KCl), хлорид аммония (NH₄Cl) или органические стабилизаторы глин для обеспечения ее совместимости с породой.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) часто добавляются в жидкости ГРП для предотвращения образования вторичных эмульсий в нефтяных скважинах [18].

1.5.5 Удаление жидкости разрыва из трещины

После успешной транспортировки проппанта в трещину жидкость разрыва должна быть извлечена на поверхность в том объеме, в каком это возможно. Значительную роль в данном процессе играет введение в состав жидкости ГРП эффективных разрушителей вязкости (брейкеров) на этапе её приготовления. Краткая характеристика веществ, применяемых в качестве брейкеров жидкостей гидроразрыва, была приведена ранее в разделе 1.4.3. Анализ возможных процессов деструкции полимерных реагентов представлен далее в разделе 1.6.

Так как пластовые условия очень разнообразны, оптимальная процедура возврата рабочей жидкости на поверхность определяется после проведения нескольких ГРП на данной территории. В высокодебитных газовых скважинах, в которых был проведен ГРП с применением проппанта, вероятно необходимость изменения процедуры возврата рабочей жидкости для оптимизации закрытия трещины и контроля количества проппанта, выносимого на поверхность [18].

1.6 Существующие процессы деструкции полимерной составляющей жидкостей ГРП

Выведение жидкости ГРП из пласта является одним из важнейших процессов на заключительном этапе операции гидроразрыва. Причина этого заключается в необходимости поддержания проницаемости и проводимости проппантной пачки на достаточном уровне.

Достижение данной цели возможно в случае, если будет применен наиболее эффективный тип деструктора. Деструкторы (брейкеры) жидкостей ГРП, применяемые в настоящее время, относятся к определенным разновидностям процессов деструкции.

Задачами данного раздела являются:

- определение отрицательного воздействия со стороны жидкостей ГРП на проницаемость и проводимость проппантной пачки;
- выявление существующих разновидностей деструкции жидкостей ГРП, встречающихся в литературных источниках;

оценка эффективности выявленных видов деструкции для проведения дальнейших исследований.

1.6.1 Влияние типа применяемой жидкости разрыва на проницаемость проппантной пачки и продуктивного пласта

При проведении операций гидроразрыва с использованием жидкостей ГРП на водной основе возникает серьезная проблема ухудшения фильтрационных свойств коллектора за счет кольтматации порового пространства пласта и образовавшихся трещин остатками не разрушенного до конца полимерного геля [19].

1.6.1.1 Кольматация порового пространства проппантной пачки при проведении ГРП с использованием жидкостей разрыва на водной основе

Сниженное значение проводимости проппантной пачки за счет остаточной жидкости разрыва является одной из основных проблем, приводящих к недостижению потенциального дебита добывающих скважин после ГРП. Причем чем выше средняя проницаемость пласта, тем больше данный эффект снижения.

Жидкости гидроразрыва, которые закачиваются под высоким давлением в пласт, готовятся на основе гелей гуаровой смолы с добавлением сшивателя и брейкера-деструктора полимеров. В случае неразрушения полимерной составляющей после размещения проппантной пачки образуется сверхвязкая, трудно удаляемая гелеобразная масса, которая блокирует как пространство трещины, так и поровое пространство призабойной зоны продуктивного пласта.

Для последующей фильтрации геля из трещины путем разрушения жидкости разрыва необходимо добиться таких значений вязкости, которые были бы сравнимы с вязкостью воды. Остаточный гель при его неполной деструкции понижает относительную проницаемость трещины и блокирует приток жидкостей к скважине. Данная ситуация диктует необходимость использования дополнительных мероприятий по очистке при освоении скважины [20].

Образование фильтрационной корки на поверхности трещины является одним из тех факторов, который негативно сказывается на проводимости трещины после проведенной операции ГРП. Во время данной операции жидкость ГРП просачивается в пласт через трещины и разрывает его, находится в трещине под гораздо более высоким давлением, чем в коллекторе. Однако достаточно большие размеры молекул сшитого гуара не позволяют ему попасть в поровую матрицу, что ведет к образованию плотной полимерной корки на поверхности трещины. Также сказывается образование плотной упаковки проппанта при смыкании трещины, когда производят снижение давления по окончании операции ГРП. Смыкание трещины ведет еще большему повышению концентрации полимера в результате дополнительное вытеснение воды из полимерной сетки в пласт. Поэтому, если полимер остается неразрушенным, происходит образование сверхвязкой гелеобразной корки, которая блокирует поровое пространство трещины [21].

1.6.1.2 Кольматация порового пространства проппантной пачки при проведении ГРП с использованием жидкостей разрыва на углеводородной основе

Наиболее частой проблемой при данной операции является выпадение в призабойной зоне пласта (ПЗП) асфальто-смолистых и парафиновых отложений (АСПО). Органические отложения (парафины и асфальтены) содержатся в различных количествах во всех типах сырой нефти. Термобарическими и геолого-техническими условиями эксплуатации нефтяных месторождений, а также природа и состав нефти определяют разнообразие АСПО. При этом как термодинамические, так и кинетические аспекты процесса растворения отложений должны быть учтены при удалении данных веществ с помощью

растворителей. Немаловажным является тот факт, что парафины могут быть растворены в органических растворителях, а асфальтены – нет [18].

1.6.2 Выявление процессов физической и химической деструкции полимерной составляющей жидкостей ГРП

Все процессы деструкции могут быть условно разделены на группы физических и химических процессов. Эти две группы включают в себя разновидности деструкции, о которых будет рассказано далее более подробно.

1.6.2.1 Физическая деструкция

Процессы, относящиеся к физической деструкции полимеров, происходят под влиянием различных физических факторов (термическая, механическая, фото- и радиационная деструкция).

1.6.2.1.1 Термическая деструкция

При нагревании полимеры подвергаются разнообразным превращениям, сопровождающимся и образованием газообразных и жидких продуктов, изменением окраски и т.д.

Устойчивость полимера к термическому воздействию определяет его термостойкость. Обычно термостойкость оценивается по температуре, при которой начинается заметное разложение полимера, по продуктам разложения и по кинетике процесса.

При нагревании полимера в некоторых местах системы энергия теплового движения становится соизмеримой с энергией химической связи, и связь разрывается. Очевидно, что очень важным фактором, определяющим термостойкость полимера, является величина энергий связи между атомами в главной цепи.

На термостойкость полимера влияют:

- наличие различных элементов в макромолекуле;
- увеличение степени разветвленности полимеров;
- наличие заместителей в молекуле.

1.6.2.1.2 Механическая деструкция

Механическая деструкция полимеров – снижение молекулярной массы полимеров при механических воздействиях, вызванное разрывами упруго

деформированных макромолекул. Еще в тридцатые годы прошлого века исследованиями Г.Штаудингера было показано, что при многократном пропускании растворов полимеров через капилляр их вязкость вследствие деструкции макромолекул уменьшается [22].

Отечественные и зарубежные ученые, продолжая работы Г.Штаудингера, обнаружили, что разрыв молекул при механической деструкции приводит к образованию макрорадикалов, в результате чего изменяется молекулярный вес и структура полимера.

Механическая деструкция – один из видов механохимических превращений полимеров и один из наиболее практически важных видов деструкции полимеров. Деструкция происходит в результате действия механических напряжений, которые возникают при механическом нагружении полимера при переработке или в процессе эксплуатации. Разрывы макромолекул могут происходить также при замораживании водных растворов полимеров, при действии ультразвука и т.п. Деструкция макромолекул линейных и трехмерных полимеров, находящихся в вязкотекучем, высокоэластичном состоянии, а также макромолекул в разбавленных и концентрированных растворах полимеров происходит при действии сравнительно малых напряжений [22].

Основная причина механодеструкции – неравномерность распределения напряжений по отдельным связям и существование «перенапряженных» участков цепей, где истинные нагрузки близки к предельной прочности химических связей на разрыв. Перенапряжения возникают вследствие различий в направлении и величине сил внутреннего трения, действующих на отдельные сегменты полимерных цепей. В свою очередь, силы внутреннего трения возникают под действием градиента давления в жидкой среде. Эти силы характеризуются напряжением сдвига.

Разрыв полимерной цепи при механодеструкции носит термофлуктуационный характер, так как напряжение сдвига в потоке раствора ослабляет энергию активации механического разрыва связей. Повышение температуры также ослабляет энергию активации. Таким образом, в качестве

основного фактора механодеструкции выступает напряжение сдвига, которое количественно отражает силы внутреннего трения в конкретной области потока полимерного раствора [22].

1.6.2.1.3 Фотодеструкция

Деструкция полимеров может протекать при их освещении видимым ($\lambda = 400-800$ нм) и особенно ультрафиолетовым ($\lambda = 180-400$ нм) излучением. Особое значение имеет освещение солнечным светом, содержащим ультрафиолетовое излучение с $\lambda \geq 270$ нм. Поглощение света макромолекулами полимеров приводит к фотовозбуждению (переходу электронов на несвязывающие и разрыхляющие орбитали); далее происходит разрыв связей (обычно гомолитический), т.е. начинается деструкция.

Фотохимическая деструкция в значительной степени облегчается, если в полимере присутствуют фотосенсибилизаторы и фотоинициаторы. Фотосенсибилизаторы легко поглощают световое излучение и передают энергию фотовозбуждения макромолекулам полимера. Фотоинициаторы при освещении легко образуют радикалы, которые далее инициируют деструкцию полимера. Фотоинициаторами могут служить пероксиды и азосоединения.

В противоположном направлении действуют фотостабилизаторы – соединения, замедляющие фотодеструкцию полимеров. Фотостабилизаторы легко поглощают световое излучение, однако, в отличие от фотосенсибилизаторов, не передают энергию фотовозбуждения макромолекулам, а излучают ее в виде тепла или излучения малой энергии. Таким образом, фотостабилизаторы выступают в роли «перехватчиков» и «рассеивателей» излучения [23].

1.6.2.1.4 Радиационная деструкция

Деструкция происходит при действии на полимеры излучений высоких энергий – α , β , γ , а также рентгеновского. Как и при фотодеструкции, сначала происходит возбуждение макромолекул, а затем деструкция, пути которой многообразны: возможны как уменьшение молекулярной массы (т. е. итоговая деструкция), так и ее увеличение за счет сшивания неконцевых макрорадикалов.

С другой стороны, используя дозированное радиоактивное излучение, можно провести полезную модификацию полимера, например, повысить термостойкость и химическую стойкость [23].

1.6.2.2 Химическая деструкция

Поскольку сшивка в присутствии боратного сшивателя происходит в щелочной среде (диапазон pH от 8 до 12 единиц), разрушение полученных гелевых структур, а также разрыв связей между полимером и бором должны происходить в кислой среде. Поэтому, все типы брейкеров, действие которых основано на принципах химической деструкции, эффективны в кислой или нейтральной среде [11, 23].

Химическая деструкция осуществляется путем воздействия на рассматриваемый объект различными химическими реагентами. К числу реагентов, применение которых возможно осуществления данных процессов, можно отнести:

- неорганические и органические кислоты;
- окислители;
- энзимы;
- биологические деструкторы.

1.6.2.2.1 Деструкция при обработке неорганическими и органическими кислотами

Наиболее быстрое разрушение геля ГРП будет происходить в результате последующей за этим процессом кислотной обработки. Действие растворов кислот основано на процессах гидролиза. Диапазон температурных границ применимости данного типа брейкеров находится в пределах от 45 до 120 °С.

Самой распространенной разновидностью неорганических кислот, применяемых на практике, является раствор соляной кислоты с концентрациями от 5 до 28 % (масс.). Данный раствор может применяться самостоятельно, либо совместно с органическими кислотами. Однако, применение неорганических кислот приводит ко многим негативным последствиям, связанным, например, с

активной коррозией оборудования и образованием значительной массы нерастворимого осадка при контакте с полимером и породами пласта.

Результаты, полученные в работе [11], доказывают предположение о том, что при добавлении соляной кислоты происходит разрыв комплексных связей между цепочками полимеров и бором.

Также необходимо учитывать, что кислоты разрушают проппант и могут оказать негативное влияние на проводимость полученной трещины, поэтому необходима разработка специальных, «щадящих» кислотных составов для более полного разрушения сшитого полисахаридного геля [11].

Слабые органические кислоты также находят применение в качестве деструкторов, но, если кислота контактирует с карбонатом в пласте, брейкер вступит в реакцию с пластом раньше, чем с жидкостью разрыва.

К недостаткам всех типов кислот можно отнести потерю реакционной способности при разбавлении, нейтрализации или преждевременной реакции с породами пласта и полимерной основой жидкости разрыва [24].

Недостатком слабых растворов кислот является возможность осадкообразования частиц, растворимых при низких значениях pH, но нерастворимых при значениях pH, близких к нейтральным. Для устранения данного недостатка слабые растворы кислот могут применяться совместно с хелатными соединениями [24].

1.6.2.2 Деструкция при добавлении окислителей

В группу деструкторов окислительного типа входят такие реагенты, как гипохлориты, пербораты, пероксиды и персульфаты. Окислители реагируют с биополимерами в температурном диапазоне от 25 до 95 °С.

Процесс деструкции с применением окислителей заключается в том, что они «отдают» кислород, который химически взаимодействует и разлагает полимерную основу жидкости разрыва. Стоит также отметить тот факт, что реакционная способность брейкеров данного типа в значительной степени уменьшается после реакции [24].

Окислители могут применяться в качестве самостоятельных деструкторов, либо совместно с неорганическими и органическими кислотами (обработка стадиями или сразу в смесях).

Скорость реакции различных окислителей зависит от температуры. В случае, если температура реакционной среды составляет менее 40 - 50 °С, этот процесс происходит достаточно медленно. Согласно исследованиям [11, 24], скорость реакции возрастает приблизительно в 4 раза при увеличении температуры на 10 °С.

К недостаткам окислителей можно отнести их коррозионную активность, способность реагировать с глинами, а также образовывать эмульсии [24].

Однако, существуют работы, в которых последний из перечисленных выше недостатков (образование эмульсий) применяется для более качественного разрушения жидкости ГРП. Так, в работе [30] авторы предлагают применять органические пероксиды, приводят их возможные композиции, а также методы обработки. Введение данных веществ предлагается в форме микро- и наноэмульсий.

Применение брейкеров в данной форме позволяет отнести их к разновидности внутренних деструкторов жидкости ГРП. Это означает, что они процесс уменьшения вязкости сшитого геля, а также его полного разрушения является замедленным. Задержка разрушения жидкости гидроразрыва позволяет поддерживать её высокую транспортирующую способность, что значительно увеличивает эффективности операции ГРП.

Авторы работы [30] утверждают, что применение органических окислителей в форме микро- и наноэмульсий позволяет добиться значительного ускорения процесса разрушения полимерной основы жидкости ГРП. Для данного способа время деструкции составляет от 1 до 16 часов, поэтому, авторы [30] отмечают его в сравнении с иными средствами и методами разрушения сшитых гелей гидроразрыва, для которых данный показатель чаще всего превышает 48 часов.

1.6.2.2.3 Деструкция под действием энзимов

Энзимы известны в качестве природных катализаторов биологических процессов. Эти брейкеры жидкости гидроразрыва представляют собой большие молекулы белков, которые состоят из цепочек аминокислот. Наиболее простые энзимы могут содержать менее 150 аминокислот. В то же время сложные энзимы, которые являются самыми типичными представителями этой группы веществ, по различным данным могут состоять из 400 – 500 аминокислот [24].

Данная разновидность деструкторов является специфичной для определенных групп полимеров. Для отдельных разновидностей энзимов это свойство выражается в активации процесса разрушения только при наличии в реакционной среде определенного биополимера. При этом, деструкции подвергается только данный полимер. Для разрушения другого полимера требуется введение дополнительного количества энзима, способного к реакции с ним.

В зависимости от типа реакции, катализатором которой являются энзимы, возможно выделить следующие их типы [9, 12]:

- оксидоредуктазы (катализируют окислительно-восстановительные реакции);
- трансферазы (способствуют перемещению элемента одной молекулы в состав другой);
- гидролазы (катализируют процесс расщепления связи под действием воды);
- лиазы (отвечают за добавление или удаление двойной связи);
- изомеразы (активизируют межмолекулярную перестройку);
- лигазы (производят объединение субстратов).

Данный тип брейкеров оказывает каталитическое действие на процесс деградации биополимера при формировании комплекса «энзим-субстрат» (рисунок 3).

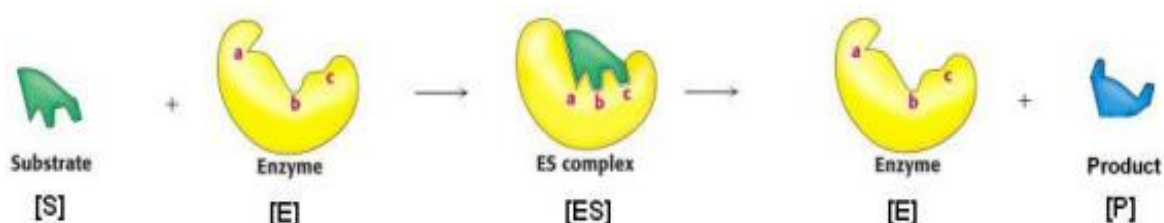


Рисунок 3 – Схема каталитического действия энзимов [9, 12]

К достоинствам энзимов можно отнести их коррозионную безопасность, так как они не реагируют с металлами, а, следовательно, не образуют с ними нерастворимых осадков, способных привести к дополнительному уменьшению проводимости трещины гидроразрыва.

Другим достоинством данного типа брейкеров является их каталитическая природа. Являясь по своей сути катализаторами процесса деструкции, в ходе его протекания, энзимы практически не расходуются. Поэтому, они могут эффективно разрушать биополимерные соединения до момента, пока сохраняются рабочие условия реакционной среды [9, 24]. Пример каталитической реакции с участием энзимов представлен на рисунке 4.

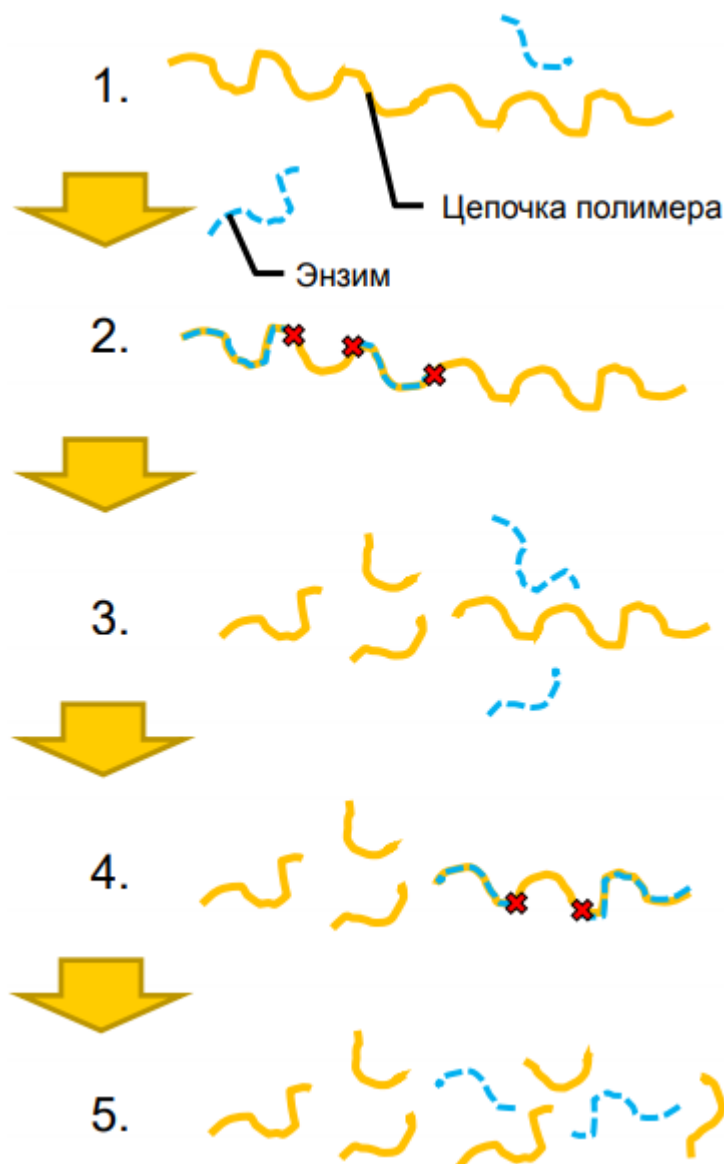


Рисунок 4 – Каталитическая реакция с добавлением энзимов

Значительная чувствительность энзимов к среде, в которой протекает процесс разрушения, является одним из основных недостатков данных веществ. К числу факторов, определяющих эффективность работы энзимов, можно отнести узкий температурный диапазон применимости (от 4 до 95 °C). Другим немаловажным фактором применения энзимов на практике является малый рабочий диапазон по значению pH реакционной среды, составляющий от 3 до 8 единиц, оптимально – 5 единиц [11].

Известны работы [9, 25, 26] зарубежных исследователей в направлении оценки эффективного применения энзимов в качестве деструкторов жидкостей гидроразрыва. В работе [9] особенно отмечается возможность применения

специальных полиэлектролитических комплексов наночастиц в качестве средства доставки энзимов и их защиты от раннего негативного воздействия реакционной среды.

В исследовании [26] выдвигается идея применения смесей нескольких энзимов, разрушающих структуру сшитой жидкости гидроразрыва на основе гуара и его производных несколькими способами. Первым из них является «отсечение» боковых галактозных звеньев. Второй способ состоит в разрыве основной маннозной цепи на несколько частей. Третий вариант также заключается в воздействии на маннозную цепь, однако, он отличается от второго постепенным отрывом крайних маннозных элементов от основной цепи.

1.6.2.2.4 Деструкция под влиянием биологических организмов

В составе химической деструкции также можно выделить деструкция под действием биологических организмов – биологическую деструкцию (биодеструкцию). Биодеструкция осуществляется под воздействием ферментов, представляющих собой белки, вырабатываемые клетками и тканями живых организмов, в том числе микроорганизмов. Для биодеструкции могут применяться аэробные и анаэробные микроорганизмы, ферменты которых расщепляют биополимеры до простых сахаров или жирных кислот [27].

Применение биологических деструкторов отличается от других способов, прежде всего, простотой осуществления процесса, дешевизной и экологичностью.

В качестве активных веществ биодеструкторов, вырабатываемых в процессе жизнедеятельности плесневых грибов, выступают органические кислоты: фумаровая, янтарная, яблочная, лимонная, глюконовая, молочная, щавелевая [31].

Как уже было отмечено выше, наряду с органическими кислотами другими важными действующими веществами, производимыми биодеструкторами, являются ферменты. На сегодняшний день имеются исследования способности микробиоты отхода пивоварения, пивной дробины,

разлагать молекулы таких полисахаридов, как: карбоксиметилцеллюлоза, ксантан, гуаровая камедь [32].

Недостатки применения биодеструкторов заключаются в необходимости индивидуального подбора разных родов микроорганизмов и грибов, их повышенной устойчивости к жестким воздействиям рабочей среды. К таким условиям можно отнести повышенные температуры и давления, значительную щелочность разрушаемой жидкости, а также возможное отсутствие доступа воздуха в рабочую область.

Однако, существует возможность ухода от непосредственного применения биологических деструкторов, которая выражается в получении из них чистого фермента-деструктора. В этом случае, деструкция будет протекать по механизму, аналогичному описанному ранее для обработки жидкости ГРП энзимами.

1.6.3 Эффективность процессов деструкции

В литературных источниках были выявлены разновидности деструкции, которые относятся к физическому или химическому типу. Далее оценим эффективность их возможного применения на основании нескольких параметров сравнения. При этом, необходимо произвести оценку всех разновидностей внутри каждой из групп, а также сравнить эти две группы друг с другом.

1.6.3.1 Оценка процессов физической деструкции

Как уже было сказано ранее, к процессам физической деструкции относятся: термическая, механическая и радиационная деструкция, а также фотодеструкция.

Исходя из проведенного обзора литературных источников, в которых освещались вопросы, касающиеся процессов физической деструкции, составлена сводная таблица 3. В данной таблице представлены данные, полученные при оценке различных видов физической деструкции по некоторым параметрам сравнения.

Таблица 3 – Сравнение различных процессов физической деструкции

Параметр сравнения	Весовой коэффициент	Виды физической деструкции			
		Термическая	Механическая	Радиационная	Фотодеструкция
Доступность	0,12	6	5	1	1
Стоимость	0,12	5	5	1	1
Простота осуществления в полевых условиях	0,08	8	3	1	1
Рабочие температуры:	0,08				
< 40 °С		4	7	10	10
40-95 °С		8	8	10	10
> 95 °С		9	9	10	10
рН жидкости ГРП:	0,08				
< 7		10	10	10	10
7		10	10	10	10
> 7		10	10	10	10
Низкий расход деструктора в процессе реакции	0,09	8	8	8	8
Скорость разрушения полимера	0,12	4	4	2	2
Минимальное количество осадка	0,12	1	1	1	1
Низкая коррозионная активность	0,07	9	9	9	9
Экологическая безопасность	0,12	9	9	1	7
Итоговая оценка	1	6,4	5,9	3,8	4,5

Анализируя полученную таблицу, можно сделать вывод о том, что наиболее эффективными из процессов физической деструкции являются термическая и механическая разновидности.

1.6.3.2 Оценка процессов химической деструкции

Аналогично пункту 1.6.3.1, составлена сводная таблица, в которой отражено сравнение всех выявленных ранее разновидностей химической деструкции по некоторым параметрам сравнения. Каждой из рассмотренных выше разновидностей химической деструкции соответствует определенных тип брейкера (таблица 4).

Таблица 4 – Сравнение различных видов химической деструкции

Параметр сравнения	Весовой коэффициент	Виды химической деструкции				
		Кислотная		Окислительная	Энзимная	Биологическая
		Неорганические кислоты	Органические кислоты	Окислители	Энзимы	Биодеструкторы
Доступность	0,12	8	8	7	1	2
Стоимость	0,12	8	8	9	1	2
Простота осуществления в полевых условиях	0,08	7	8	7	6	6
Рабочие температуры: < 40 °С 40-95 °С > 95 °С	0,08	8	8	5	8	8
		9	9	8	5	8
		8	8	8	2	7
рН жидкости разрыва: < 7 7 > 7	0,08	9	9	6	9	5
		9	9	6	8	7
		8	8	5	3	5
Низкий расход деструктора в процессе реакции	0,09	1	1	1	9	7
Скорость разрушения полимера	0,12	8	8	8	8	6
Минимальное количество осадка	0,12	1	5	5	8	5
Низкая коррозионная активность	0,07	1	6	5	9	9
Экологическая безопасность	0,12	1	6	5	9	9
Итоговая оценка	1	5,2	6,7	6,1	6,1	5,7

Итоговые оценки эффективности, представленные в таблице 4, позволяют выделить деструкцию с добавлением органических кислот, окислителей и энзимов. Однако, деструкция под действием энзимов связана со значительными денежными затратами на приобретение энзимных брейкеров. Поэтому, данный вид деструкции может быть исключен из дальнейшего рассмотрения. Следовательно, можно предположить, что наибольшей эффективностью будут обладать кислотная и окислительная разновидности химической деструкции.

1.6.3.3 Выбор наиболее эффективных процессов деструкции из ранее рассмотренных

В данном разделе следует учесть все результаты, которые были получены ранее при оценке разновидностей физической и химической деструкции. Еще раз отметим, что наиболее эффективными являются следующие виды деструкции: термическая, механическая, кислотная и окислительная. Для более простого сравнения данных видов друг с другом, составим сводную таблицу 5.

Таблица 5 – Сравнение различных видов деструкции

Параметр сравнения	Весовой коэффициент	Виды деструкции			
		Физическая		Химическая	
		Термическая	Механическая	Кислотная	Окислительная
				Органические кислоты	Окислители
Доступность	0,12	6	5	8	7
Стоимость	0,12	5	5	8	9
Простота осуществления в пластовых условиях	0,08	8	3	8	7
Рабочие температуры:	0,08				
< 40 °С		4	7	8	5
40-95 °С		8	8	9	8
> 95 °С		9	9	8	8
рН жидкости разрыва:	0,08				
< 7		10	10	9	6
7		10	10	9	6
> 7		10	10	8	5
Низкий расход деструктора в процессе реакции	0,09	8	8	1	1
Скорость разрушения полимера	0,12	4	4	8	8
Минимальное количество осадка	0,12	1	1	5	5
Низкая коррозионная активность	0,07	9	9	6	5
Экологическая безопасность	0,12	9	9	6	5
Итоговая оценка	1	6,4	5,9	6,7	6,1

Оценим результаты, представленные в таблице 5. Химическая деструкция кислотного типа обладает наибольшей эффективностью в сравнении с другими разновидностями деструкции. Далее по значимости расположены термический, окислительный и механический тип процесса разрушения полимеров.

Однако, стоит отметить тот факт, что в процессе проведения операций ГРП термическая и механическая разновидности выступают в роли нежелательного воздействия, оказываемого внешними условиями рабочей области. Например, термическая деструкция проявляется в условиях постепенного повышения температур до значений, характерных для продуктивного пласта. Механическая деструкция может быть обусловлена нарушением технологии приготовления жидкости ГРП, а также процессом ее продавки через перфорационные отверстия в эксплуатационной колонне малого диаметра.

Все вышесказанное позволяет сделать вывод о возможности рассмотрения двух разновидностей деструкции химического типа: кислотной и окислительной. При этом возможно их комбинирование друг с другом, а также введение и учет термической деструкции, как дополнительного фактора влияния пластовых условий на процесс деструкции полимеров. Также возможно отдельное рассмотрение механической деструкции, как средства оценки устойчивости сшитой жидкости ГРП к высоким значениям сдвиговых напряжений.

1.7 Экологические аспекты проведения ГРП

Следует отметить, что отработанные жидкости ГРП обладают высокой токсичностью, поэтому правильность решения вопросов их захоронения или утилизации имеет первостепенное значение для охраны окружающей среды [28].

Отработанные жидкости ГРП, извлекаемые при освоении скважин, должны вывозиться на очистные сооружения, либо закачиваться в глубокозалегающие поглощающие пласты. Жидкости, содержащие неорганические кислоты (или другие активные вещества), подлежат нейтрализации. Жидкости, содержащие нефтепродукты, должны проходить очистку на локальных нефтеловушках, где предусматриваются сбор и удаление всплывших нефтепродуктов и выпавшего осадка. Все работы по обращению с 3 отходами должны проводиться в соответствии с требованиями «Правил безопасности в нефтяной и газовой промышленности», утвержденных приказом

Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору [29].

При проведении ГРП очень важно обращать внимание на техническое состояние скважины. Для исключения возможности попадания пластовых флюидов в результате использования ГРП в пресные водоносные горизонты эксплуатационные колонны должны быть герметичны. До начала работ (на стадии планирования и выбора объектов) рекомендуется проводить оценку природной защищенности подземных вод «снизу» для территории расположения объекта ГРП. Пути для подъема высокоминерализованных вод снизу вверх могут быть как незацементированное затрубное пространство нефтяных скважин, так и тектонически разуплотнённые зоны, раскрытые под действием повышенных относительно естественных пластовых давлений при проведении ГРП [28, 29].

Отрицательные последствия ГРП проявляются не только в виде возможного загрязнения поверхностных и подземных вод, а также возможного загрязнения различными вредными примесями атмосферного воздуха. Применение множества химических реагентов в различных технологических процедурах, прежде всего при выполнении гидроразрыва, ухудшает состояние окружающей среды. Возможно загрязнение атмосферного воздуха выбросами углеводородов и веществами, входящими в состав жидкости ГРП.

При проведении гидроразрыва пласта, существует риск случайных разливов жидкости разрыва на поверхности земли. Также возможно заражение почвы от слива отработанной воды и других технологических факторов, разрушительные процессы в грунтах (сейсмическая нестабильность, возможность землетрясений, проседание поверхности). При производстве ГРП выделяют два вида техногенного воздействия на геологическую среду: «сверху» и «снизу» [28, 29].

Техногенное воздействие «сверху»:

- загрязнение поверхностных и пресных подземных вод в результате попадания продуктов ГРП с поверхности в случае проливов, аварий, негерметичности устьевой арматуры и т.д.;
- загрязнение воздушного бассейна при накоплении газов в результате ГРП и его прорыв на поверхность;
- загрязнение почв в результате разливов, утечек реагентов ГРП;
- истощение ресурсов пресных вод в результате их интенсивного отбора для ГРП.

Техногенное воздействие «снизу» и сопровождающие его изменения геологической среды:

- интенсификация перетоков соленых вод по возможным природным и техногенным путям перетоков (тектонические трещины, скважины различного назначения с некачественным техническим состоянием), при этом возможно увеличение концентраций хлоридов, сульфатов, минерализации, натрия, бромидов;
- переформирование гидрогеологических условий в результате создания локальных областей питания и разгрузки вод вышележащих и нижележащих отложений в результате интенсификации развития трещиноватости пород;
- активизация, главным образом, эндогенных процессов и впоследствии, связанная с ними, активизация экзогенных процессов.

Резюмируя все вышесказанное, отметим, что при проведении операций ГРП могут происходить следующие негативные процессы относительно влияния на окружающую и геологическую среду:

- загрязнение поверхностных и подземных вод «сверху» и «снизу»:
 - а) при гидроразрыве пласта используется не только вода, но и химические вещества, которые поступают в пласт и могут вызвать заражение подземных, грунтовых вод химическими реактивами;

б) возможность попадания пластовых флюидов в результате использования ГРП в пресные водоносные горизонты при плохом состоянии цемента за колонной;

в) при утилизации «отработанной» воды;

г) истощение водных ресурсов;

– загрязнение атмосферного воздуха выбросами углеводородов и веществами, входящими в состав раствора, закачиваемого для ГРП;

– заражение почвы от слива отработанной воды и других технологических факторов;

– разрушительные процессы в грунтах (сейсмическая нестабильность, возможность землетрясений, проседание поверхности).

1.8 Заключение по литературному обзору

В процессе обзора литературных источников, относящихся напрямую или косвенно к принятой тематике магистерской диссертации были получены следующие результаты:

– рассмотрен гидравлический разрыв пласта как метод повышения проницаемости призабойной зоны пласта;

– отмечены факторы, влияющие на эффективность проведения ГРП;

– рассмотрены существующие разновидности жидкостей ГРП, определены основные компоненты жидкостей разрыва на водной основе;

– обозначены наиболее важные свойства жидкостей гидроразрыва;

– выявлены существующие процессы деструкции, а также произведена оценка их эффективности.

По результатам проведенного литературного обзора можно отметить следующее:

– гидравлический разрыв пласта является одним из наиболее эффективных методов активного вовлечения трудноизвлекаемых запасов углеводородов, приуроченные к низкопроницаемым, слабодренируемым, неоднородным и расчлененным коллекторам;

- на завершающей стадии проведения ГРП наиболее важным является процесс удаления жидкости гидроразрыва из трещины без нанесения значительного ущерба проницаемости и проводимости проппантной пачки;
- существует несколько разновидностей полимерных реагентов, применение которых возможно в качестве структурообразователей рабочей жидкости ГРП, однако, наиболее подходящими по физико-химическим и технико-экономическим показателям являются гуар и его производные;
- среди физических и химических процессов деструкции полимеров возможно обнаружить некоторые разновидности, разрушающее воздействие которых позволяет целенаправленно подвергать полимеры деградации; однако, оно может иметь побочное или негативное значение для операции ГРП;
- среди физических процессов наиболее перспективными будут являться механическая и термическая разновидности деструкции;
- разновидности химической деструкции, являющиеся наиболее эффективными: кислотная и окислительная.

2 Методика проведения исследований

Организация данного раздела заключается в выполнении следующих задач:

- подбор рецептуры для модельной жидкости ГРП;
- принятие методики приготовления жидкости гидроразрыва;
- описание методики контроля параметров жидкости ГРП, позволяющих оценить эффективность процессов деструкции;
- подбор методики обработки полученных экспериментальных данных.

2.1 Рецепт жидкости ГРП

В качестве основной литературной базы, в которой содержится информация о существующих рецептурах и методиках приготовления жидкостей ГРП, выступают различные патенты.

В литературных источниках [4, 7, 9, 10, 25, 26] встречаются несколько рецептов, по которым возможно приготовление жидкости ГРП. Состав жидкости для ГРП варьируется в зависимости от температурного режима и глубины скважины, а также от количественного и качественного состава пластовых пород. Учет данных факторов необходим вследствие непосредственного влияния указанных параметров на условия сшивки и деструкции геля в составе рабочей жидкости.

В разделе 1.4. приведены входящие в состав большинства жидкостей гидроразрыва на водной основе компоненты и их процентные массовые концентрации. Типовая рецептура, а также рецептура, по которой производилось приготовление модельной жидкости ГРП, представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Типовая и использованная рецептуры модельной жидкости ГРП

Компоненты	Рецептура	
	Типовая	Применявшаяся в экспериментах
	Загрузка реагента на 1 л	
Гелеобразователь	1,2 – 9,6 г	3,6 г
Сшиватель	0,24 – 3,5 мл	3 мл
Стабилизатор глин	10 – 30 г	20 г
Деструктор	0,1 – 0,8 г	-
Биоцид	0,05 г	-

Как видно из таблицы 6, использованная при проведении экспериментов рецептура не содержит в себе деструктор и биоцид (бактерицид). Отсутствие данных компонентов обусловлено обеспечением возможности проведения опытов с различными видами деструкторов, отличными от видов, применяемых в типовой рецептуре, в том числе, биологическими деструкторами.

2.2 Приготовление жидкости ГРП

С учетом приведенной в пункте 2.1 рецептуры модельной жидкости разрыва, был произведен пересчет масс компонентов из расчета необходимости приготовления 350 г сшитой жидкости ГРП. При этом были получены следующие значения:

- дистиллированная вода – 341,7 г;
- KCl – 7 г;
- гуар – 1,3 г;
- сшиватель – 1 мл.

Требуемая масса дистиллированной воды, а также навески стабилизатора глин (KCl), гуара и сшивателя подготавливались с применением электронных весов ЕК-6000Н (рисунок 5).



Рисунок 5 – Электронные весы EK-6000H

Приготовление модельной жидкости ГРП производилось с применением высокоскоростной мешалки ES-8300D (рисунок 6).



Рисунок 6 – Высокоскоростная мешалка ES-8300D

Алгоритм приготовления модельной жидкости ГРП состоит в следующем:

- подготавливают 341,7 г дистиллированной воды и 7 г KCl;

- устанавливают мешалку в рабочее положение, вводят KCl в дистиллированную воду на частоте 1050 – 1100 об/мин, перемешивают в течение 5-10 минут;
- подготавливают 1,3 г гуара;
- постепенно добавляют гуар к раствору KCl в дистиллированной воде, перемешивание производят на частоте 1100 – 1400 об/мин в течение 30 минут;
- отмеряют 1 мл сшивателя;
- вводят сшиватель в раствор линейного полимера, осуществляют перемешивание на частоте 1050 – 1100 об/мин до момента закрытия воронки;
- выключают мешалку, оставляют полученную жидкость на 30 – 40 минут с целью ожидания набора требуемой вязкости.

Закрытие воронки происходит постепенно, время закрытия составляет от 90 до 210 секунд. По закрытию воронки можно судить об образовании в модельной жидкости ГРП сетчатой структуры, объединяющей линейные полимерные цепи в единую систему. После достижения момента закрытия воронки начинает проявляться эффект Вайсенберга. Данный эффект состоит в смещении намотанной на стержень полимерной цепочки в сторону наименьшего эффективного диаметра, то есть в зону, свободную от полимера – вверх по стержню мешалки.

Сшитая жидкость ГРП набирает требуемую вязкость в момент, когда при попытке её перелива из одной емкости в другую она начинает принимать форму языка.

2.3 Контроль реологических параметров жидкости ГРП до и после обработки деструкторами

В процессе подготовки литературного обзора было выявлено, что, во всех имеющихся работах, в качестве контролируемого реологического параметра рассматривалась вязкость сшитого геля до и после его обработки деструкторами.

В качестве основного прибора, с помощью которого в работе контролировался параметр вязкости системы, применялся ротационный вискозиметр OFITE M900 с конфигурацией боба R1B1 (рисунок 7). Данный

прибор был подключен к компьютеру через разъем RS 232 и контролировался удаленно через специальное программное обеспечение «ORCADA Software». Все экспериментальные данные записывались в файл с интервалом, равным одной минуте.



Рисунок 7 – Вискозиметр OFITE M900

В качестве исполнимой программы был выбран тест на стабильность жидкости к изменению сдвиговой нагрузки с минимальным значением частоты вращения ротора прибора 60 об/мин; максимальное значение частоты вращения составляло 300 об/мин. Данные значения соответствуют 100 и 511 1/с.

Однако, при длительном воздействии подобных частот на сшитый гель, наблюдалась его механическая деструкция. Поэтому, было принято решение уменьшить сдвиговые нагрузки путем снижения частот вращения ротора прибора.

Экспериментально была выбрана программа с максимальным и минимальным значениями частоты вращения, равными 30 и 10 об/мин

соответственно. Значения частот вращения рабочей части измерительного прибора для итоговой программы представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Программа реологических испытаний образцов жидкости ГРП, обработанных брейкерами

Название стадии	Параметры программы		
	Частота, об/мин	Скорость сдвига, 1/с	Время, с
Реологический цикл	30	51	40
	25	42,5	40
	20	34	40
	15	25,5	40
	10	17	40
	15	25,5	40
	20	34	40
	25	42,5	40
	30	51	40
Период стабилизации (подготовки) образца	30	51	600

Каждый из опытов состоял из пяти реологических циклов и четырех периодов стабилизации образца. Соответственно, длительность одного эксперимента составляла приблизительно 1 час 10 минут.

Масса образца жидкости разрыва, помещаемого в чашу прибора, была равна 180 г. Для случаев оценки вязкости образца после обработки деструктором, применялось следующее соотношение: масса сшитого полимера равнялась 120 г, масса деструктора – 60 г (2:1). Для случаев применения смесей нескольких деструкторов, общая масса брейкера сохранялась неизменной, но делилась в соотношении 1:1 между разными деструкторами.

Для всех применявшихся в опытах брейкеров, были выбраны следующие процентные массовые концентрации: 4, 5, 6, 7, 8, 9 и 10 % (масс.). Так как некоторые из применяемых деструктров изначально имели более высокие массовые концентрации, то для них было произведено уменьшение концентрации активного вещества в растворах по «правилу креста».

2.4 Обработка полученных экспериментальных данных

Авторы рассмотренных в литературном обзоре работ обрабатывали массивы экспериментальных данных путем представления их в графическом виде. Далее осуществлялось сопоставление полученных данных для всех упоминаемых видов деструкторов. В основном рассматривались падение вязкости с течением времени, а также рост степени деструкции с течением времени.

Как уже было сказано ранее, все экспериментальные данные, получаемые в процессе опыта, записывались программным обеспечением измерительного прибора в отдельном файле.

Для каждого из таких файлов определялась выборка значений вязкости при постоянной частоте вращения рабочей части прибора. Степень деструкции представляет собой отношение вязкости сшитой жидкости гидроразрыва без добавления деструктора к вязкости той же жидкости ГРП, но после её обработки определенной разновидностью брейкера.

В результате были построены графики зависимости степени деструкции от времени разрушающего воздействия, оказываемого со стороны брейкера, а также графики зависимости степени деструкции от концентрации введенных брейкеров.

3 Экспериментальная часть

Содержание данного раздела включает результаты проведенных экспериментов для оценки разрушающего воздействия химических деструкторов, а также определения влияния физических процессов деструкции.

3.1 Результаты экспериментов при высоких значениях частот вращения рабочей части измерительного прибора с введением дополнительного температурного фактора

В этом разделе приведены результаты опытов с изначально выбранными тестами на стабильность жидкости к изменению сдвиговой нагрузки, для которых имело место разрушение структуры сшитой жидкости разрыва в процессе эксперимента. При этом, было проведено несколько тестов с дополнительным влиянием температурного фактора (нагрев до температуры около 80 °С).

В ходе проведения опытов было обнаружено значительное отрицательное влияние механического и температурного факторов на стабильность модельной жидкости ГРП. Результаты проведенных экспериментов представлены в графическом виде (рисунок А.1, приложение А).

3.2 Результаты экспериментов по определению степени деструкции жидкости ГРП после её обработки различными брейкерами

В качестве химических брейкеров жидкостей гидроразрыва были использованы:

- лимонная кислота и её смеси с окислителями;
- гликолевая кислота;
- молочная кислота;
- уксусная кислота.

3.2.1 Применение лимонной кислоты

Эксперименты с добавлением лимонной кислоты производились для трех случаев: без дополнительных добавок, а также с добавлением перекиси водорода и перкарбоната натрия.

3.2.1.1 Применение лимонной кислоты без смешивания с иными деструкторами

Зависимость степени деструкции сшитого геля от времени его обработки лимонной кислотой в концентрациях от 4 до 10 % (масс.) представлена на рисунке А.2, приложение А.

Зависимость степени деструкции сшитого геля от концентрации лимонной кислоты приведена на рисунке 8.



Рисунок 8 – Зависимость степени деструкции сшитого геля от концентрации лимонной кислоты

3.2.1.2 Применение смеси лимонной кислоты и перекиси водорода

Зависимость степени деструкции сшитого геля от времени его обработки смесью лимонной кислоты и перекиси водорода в концентрациях от 4 до 10 % (масс.) представлена на рисунке А.3, приложение А.

Зависимость степени деструкции сшитого геля от концентрации смеси лимонной кислоты и перекиси водорода приведена на рисунке 9.



Рисунок 9 – Зависимость степени деструкции сшитого геля от концентрации смеси лимонной кислоты и перекиси водорода

3.2.1.3 Применение смеси лимонной кислоты и перкарбоната натрия

Зависимость степени деструкции сшитого геля от времени его обработки смесью лимонной кислоты и перкарбоната натрия в концентрациях от 4 до 10 % (масс.) представлена на рисунке А.4, приложение А.

Зависимость степени деструкции сшитого геля от концентрации смеси лимонной кислоты и перкарбоната натрия приведена на рисунке 10.



Рисунок 10 – Зависимость степени деструкции сшитого геля от концентрации смеси лимонной кислоты и перкарбоната натрия

3.2.2 Применение гликолевой кислоты

Зависимость степени деструкции сшитого геля от времени его обработки гликолевой кислотой в концентрациях от 4 до 10 % (масс.) представлена на рисунке А.5, приложение А.

Зависимость степени деструкции сшитого геля от концентрации гликолевой кислоты приведена на рисунке 11.



Рисунок 11 – Зависимость степени деструкции сшитого геля от концентрации гликолевой кислоты

3.2.3 Применение молочной кислоты

Эксперименты с добавлением молочной кислоты производились для двух разновидностей данного брейкера: производства фирм M.C.D. Import & Export Gmbh (I) и Sigma Aldrich (II).

3.2.3.1 Применение молочной кислоты производства фирмы M.C.D. Import & Export Gmbh

Зависимость степени деструкции сшитого геля от времени его обработки молочной кислотой I (M.C.D. Import & Export Gmbh) в концентрациях от 4 до 10 % (масс.) представлена на рисунке А.6, приложение А.

Зависимость степени деструкции сшитого геля от концентрации молочной кислоты I (M.C.D. Import & Export Gmbh) приведена на рисунке 12.



Рисунок 12 – Зависимость степени разрушения сшитого геля от концентрации молочной кислоты I (M.C.D. Import & Export GmbH)

3.2.3.2 Применение молочной кислоты производства фирмы Sigma Aldrich

Зависимость степени разрушения сшитого геля от времени его обработки молочной кислотой II (Sigma Aldrich) в концентрациях от 4 до 10 % (масс.) представлена на рисунке А.7, приложение А.

Зависимость степени разрушения сшитого геля от концентрации молочной кислоты II (Sigma Aldrich) приведена на рисунке 13.

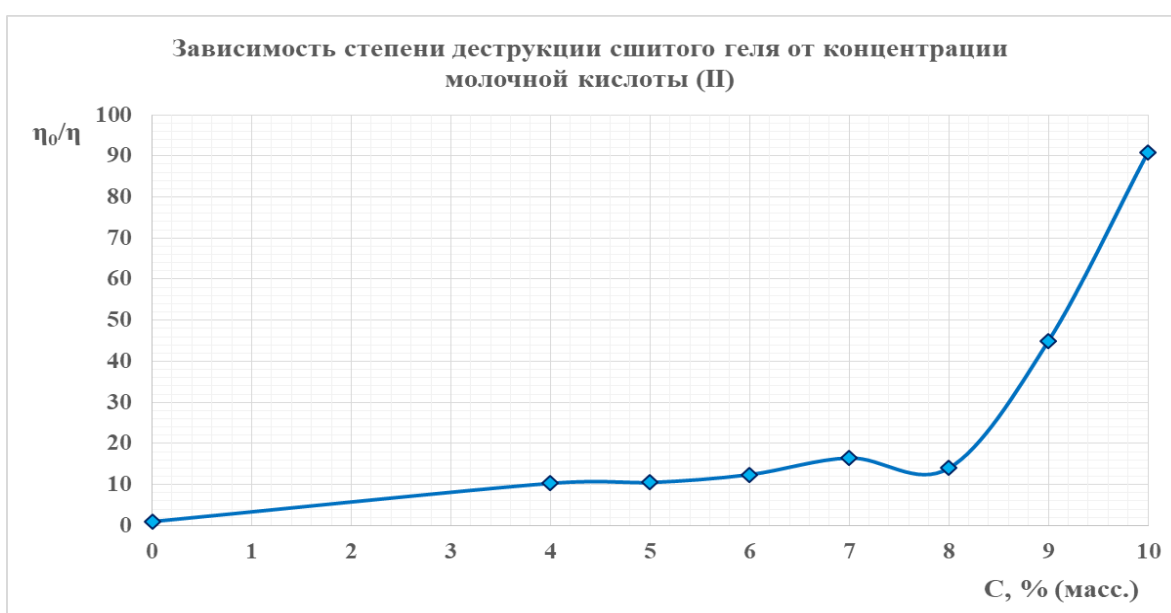


Рисунок 13 – Зависимость степени разрушения сшитого геля от концентрации молочной кислоты II (Sigma Aldrich)

3.2.4 Применение уксусной кислоты

Зависимость степени деструкции сшитого геля от времени его обработки уксусной кислотой в концентрациях от 4 до 10 % (масс.) представлена на рисунке А.8, приложение А.

Зависимость степени деструкции сшитого геля от концентрации уксусной кислоты приведена на рисунке 14.

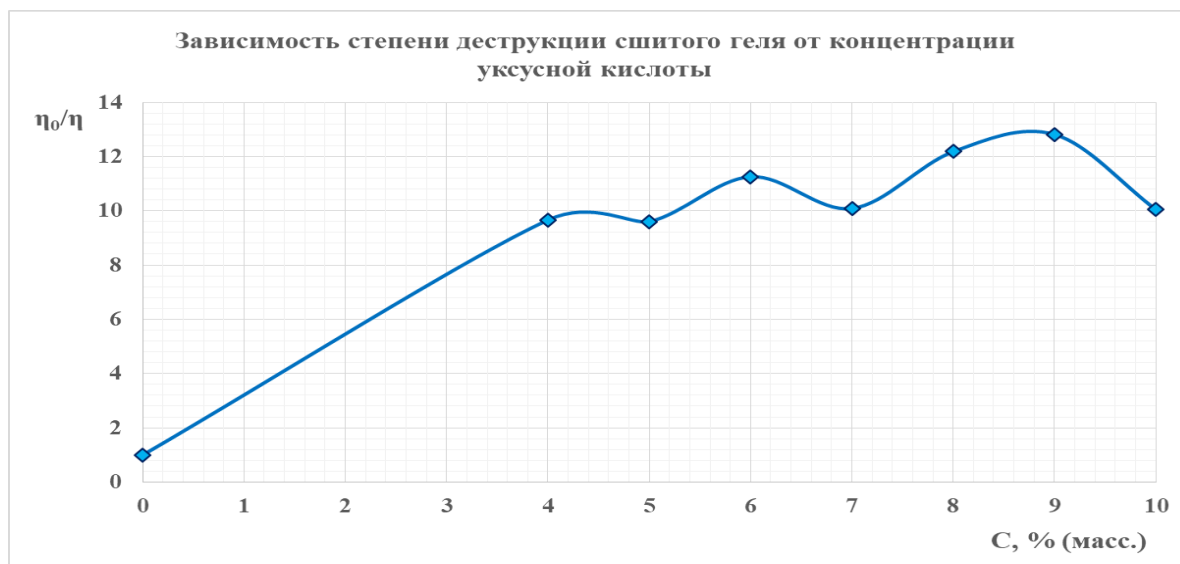


Рисунок 14 – Зависимость степени деструкции сшитого геля от концентрации уксусной кислоты

3.3 Выводы по экспериментальной части

Основной целью экспериментальной части данной работы являлась оценка эффективности различных видов деструкторов, что, в свою очередь, позволило проверить достоверность теоретических оценок эффективности, представленных в разделе 1.6.3.3.

Данная цель была достигнута путем выполнения следующих промежуточных задач:

- проведение экспериментов по оценке стабильности сшитой модельной жидкости ГРП к повышенным механическим нагрузкам;
- проведение экспериментов по оценке стабильности сшитой модельной жидкости ГРП к повышенным механическим нагрузкам с дополнительным введением температурного фактора;

- осуществление опытов с различными деструкторами химического типа (органическими кислотами и окислителями);
- обработка полученных массивов экспериментальных данных с целью представления их в графическом виде;
- анализ полученных графиков и сопоставление различных видов деструкторов друг с другом для выявления наиболее эффективного из них.

Результатом проведения экспериментов с введением механического и температурного факторов явилось обнаружение значительного отрицательного влияния на стабильность жидкости ГРП. Данные факторы следует учитывать при проведении операции по гидроразрыву пласта.

По результатам экспериментов, проведенных с химическими деструкторами, возможно построить сводный график, отражающий зависимость степени деструкции сшитого геля от концентрации применявшихся брейкеров (рисунок 15).

Как видно из графиков, наибольшую эффективность практически на всем исследованном интервале концентраций показывают лимонная кислота без добавок, её смесь с перекисью водорода, а также гликолевая кислота.

При этом, молочная кислота производства компании Sigma Aldrich имеет лучшие показатели при массовых концентрациях 9 и 10 % (масс.). Однако, молочная кислота, производителем которой является фирма M.C.D. Import & Export GmbH характеризуется сравнительно малыми значениями степени разрушения жидкости ГРП, обрабатываемой с её применением. Различия между двумя типами одного деструктора могут быть объяснены тем, что молочная кислота производства Sigma Aldrich имеет более высокую степень очистки по сравнению с реагентом фирмы M.C.D. Import & Export GmbH.

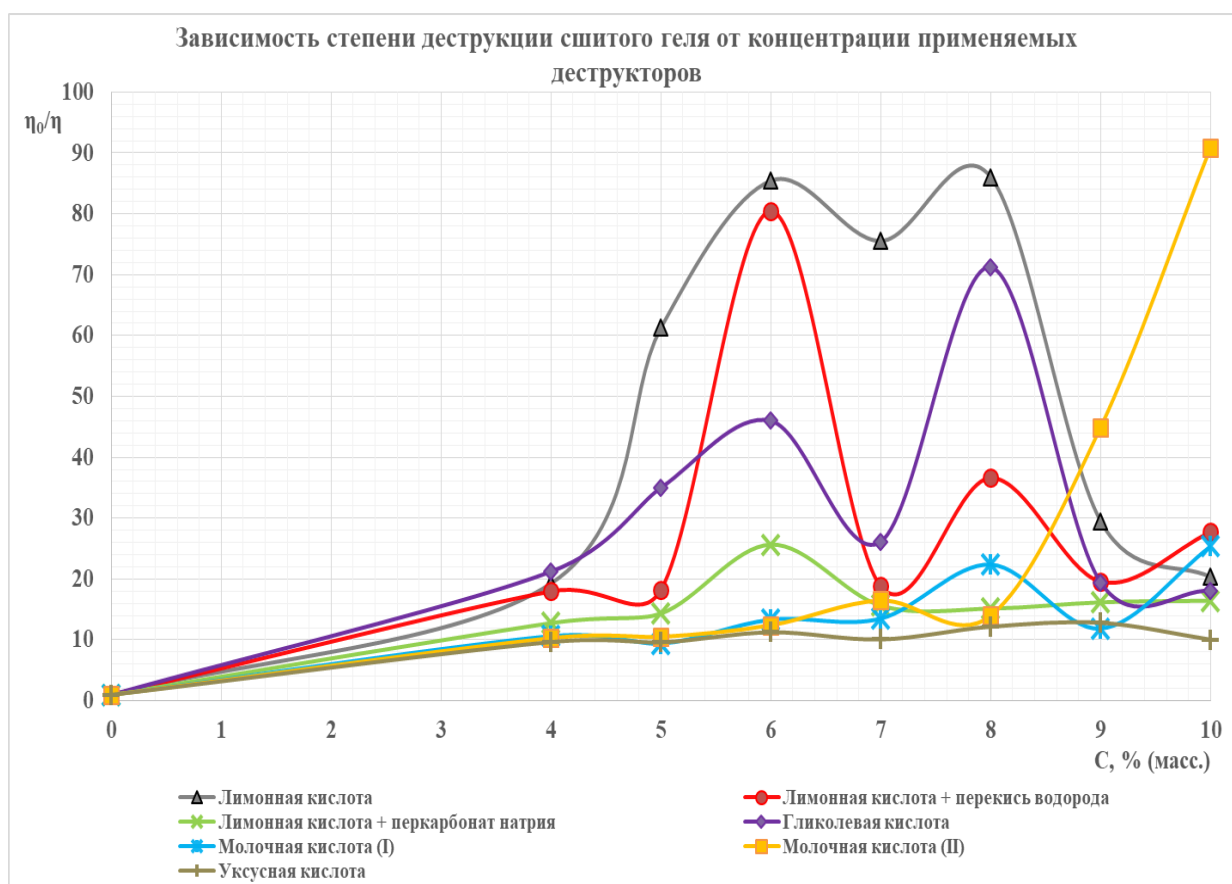


Рисунок 15 – Зависимость степени деструкции сшитого геля от концентрации применявшихся брейкеров

Худшие результаты были показаны смесью лимонной кислоты с перкарбонатом натрия, а также уксусной кислотой. Возможной причиной незначительного разрушающего воздействия, оказываемого смесью лимонной кислоты с перкарбонатом натрия, может являться преждевременное взаимодействие этих реагентов друг с другом при их предварительном смешивании. Уксусная кислота является, по-видимому, самой слабой из всех рассмотренных органических кислот. Однако, учитывая этот факт, можно сказать о том, что для данного типа брейкера характерно примерное постоянство степени деструкции на всем исследованном интервале массовых концентраций.

В целом можно отметить тот факт, что представленные в разделе 1.6.3.3 теоретические оценки эффективности различных процессов деструкции соответствуют результатам, полученным в ходе проведенных экспериментов. Однако, возможно проведение более тщательной оценки воздействия на сшитую жидкость ГРП со стороны механического и температурного факторов.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Магистерская диссертация направлена на исследование влияния органических и неорганических деструкторов (брейкеров) на реологические свойства жидкостей гидроразрыва, однако, большинство из рассмотренных деструкторов имеют органическую природу, так как вещества данного типа оказывают минимальное отрицательное воздействие на окружающую среду, а также практически не представляют опасности для жизни и здоровья человека.

В данной главе отражены и проведены расчеты расходов, направленных на осуществление научного исследования, обусловленного тематикой магистерской диссертации.

4.1 SWOT-анализ

Первый этап анализа заключается в описании сильных и слабых сторон исследовательской работы, а также возможностей и угроз для её реализации, исходящих из внешней среды. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в приложении Б, таблица Б.1.

На втором этапе производится выявление соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Определение соответствий/несоответствий направлено на оценку степени необходимости проведения стратегических изменений.

Интерактивная матрица проекта представлена в таблицах 8, 9, 10 и 11.

Таблица 8 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

	Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4
	B1	0	+	+	0
	B2	-	+	+	+
	B3	-	+	+	+
	B4	-	-	-	-

При анализе первой интерактивной матрицы, можно отметить те комбинации возможностей и сильных сторон проекта, корреляция которых наиболее значительна: B1C2C3, B2C2C3C4, B3C2C3C4.

Таблица 9 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

	Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	-	-	-
	B2	-	-	-	+
	B3	-	+	+	-
	B4	-	-	-	-

При анализе второй интерактивной матрицы, можно выделить возможности и слабые стороны проекта с наиболее значительной корреляцией: B2Сл4, B3Сл2Сл3.

Таблица 10 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

	Сильные стороны проекта				
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4
	У1	-	-	-	-
	У2	-	+	-	+
	У3	-	-	-	-
	У4	-	-	-	0

Для третьей интерактивной матрицы характерной является комбинация взаимосвязанных угроз и сильных сторон проекта: У2С2С4.

Таблица 11 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

	Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	+	-	-
	У2	+	+	-	+
	У3	0	0	+	-
	У4	+	+	-	0

Четвертая интерактивная матрица может быть охарактеризована наличием следующих комбинаций сильно коррелирующих угроз и слабых сторон проекта: У1Сл1Сл2, У2Сл1Сл2Сл4, У3Сл3, У4Сл1Сл2.

В качестве третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа, которая представлена в приложении Б, таблица Б.2.

4.2 Планирование научно-исследовательской работы

4.2.1 Структура работы в рамках научного исследования

Порядок планирования комплекса предполагаемых работ имеет следующую структуру:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Каждый вид запланированных работ должен иметь соответствующие должности исполнителей.

Составление списка этапов и работ в рамках проведения научного исследования с обязательным распределением исполнителей по категориям работ является основой в планировании научно-исследовательской работы.

Составленный порядок этапов и работ, а также распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Научный руководитель
	3	Подбор и изучение литературы по теме	Магистрант
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, магистрант
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Поиск теоретических положений о деструкции полимерных реагентов	Магистрант
	6	Проведение экспериментов по разрушению полимеров с помощью определенных деструкторов	Магистрант
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка результатов исследования	Научный руководитель, магистрант
Оформления отчета по проведенным исследованиям	8	Написание пояснительной записки	Научный руководитель, магистрант

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

В большинстве случаев значительную часть стоимости исследования составляют трудовые затраты. Следовательно, необходимо определить трудоемкость работ, относящихся к каждому из участников научно-исследовательского проекта.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как она зависит от множества факторов, учет которых затруднителен. Для определения ожидаемого значения трудоемкости $t_{ожи}$ применяется формула (1):

$$t_{ожи} = \frac{3t_{мини} + 2t_{махи}}{5}, \quad (1)$$

где $t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{мини}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{махи}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

На основе ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , которая учитывает параллельность выполнения работ несколькими исполнителями (формула 2). Данное вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i}, \quad (2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одинаковую работу на данном этапе, чел.

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Исходя из наглядности и максимальной простоты визуализации, в качестве графика проведения научного исследования выбирается диаграмма Ганта. Она является горизонтальным ленточным графиком, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для облегчения процесса построения графика, длительность каждого из этапов работ следует перевести из рабочих дней в календарные по формуле (3):

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}}, \quad (3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности для 2019 года определяется по формуле (4):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Так как согласно «Производственному календарю на 2019 год для пятидневной рабочей недели» $T_{\text{кал}} = 365$, $T_{\text{вых}} = 104$, $T_{\text{пр}} = 14$, то коэффициент календарности в 2019 году равен 1,478.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} округляем до целого числа. Все рассчитанные значения сведены в таблицу 13.

На основе таблицы 13 производим построение план-графика, который представлен в приложении Б, рисунок Б.1.

Таблица 13 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}	Длительность работ в календарных днях, T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ож}$, чел-дни			
Составление и утверждение технического задания	2	4	2,8	Научный руководитель	3	4
Выбор направления исследований	4	6	4,8	Научный руководитель	5	7
Подбор и изучение литературы по теме	14	21	16,8	Магистрант	17	25
Календарное планирование работ по теме	2	3	2,4	Научный руководитель, магистрант	1	2
Поиск теоретических положений о деструкции полимерных реагентов	4	7	5,2	Магистрант	5	7
Проведение экспериментов по разрушению полимеров с помощью определенных деструкторов	28	35	30,8	Магистрант	31	46
Оценка результатов исследования	7	8	7,4	Научный руководитель, магистрант	4	6
Написание пояснительной записки	7	14	9,8	Научный руководитель, магистрант	5	7

4.2.4 Бюджет научно-технического исследования

4.2.4.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

К материальным затратам относится стоимость реагентов и расходных материалов, необходимых для проведения экспериментов. Материальные затраты отражены в таблице 14.

Таблица 14 – Материальные затраты научно-технического исследования

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Лимонная кислота	г	59	0,58	34,22
Гликолевая кислота (Sigma Aldrich)	мл	44	31,76	1397,44
Молочная кислота (L-изомер, M.C.D. Import & Export Gmbh)	мл	37	5,63	208,31
Молочная кислота (L-изомер, Sigma Aldrich)	мл	37	13,39	495,43
Уксусная кислота	мл	42	0,16	6,72
Перекись водорода	мл	49	0,12	5,88
Перкарбонат натрия	г	15	0,21	3,15
Гуар J580 (I580)	г	24	0,8	19,2
Сшиватель B264A	мл	19	0,7	13,3
Хлорид калия	г	133	0,065	8,65
Дистиллированная вода	мл	9555	0,02	191,1
Дрожжи	г	30	1,35	40,5
Итого:				2423,9

4.2.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, а также рабочих опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется на основе трудоемкости выполняемых работ и действующей системы тарифных ставок и окладов. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада.

Настоящая статья включает основную заработную плату работников, занятых в процессах научно-технического исследования, (включая премии, доплаты), а также их дополнительную заработную плату (формула 5):

$$З_{п} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (5)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле (6):

$$Z_{\text{осн}} = T_p \cdot Z_{\text{дн}}, \quad (6)$$

где T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. ;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (7):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d}, \quad (7)$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, пятидневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, шестидневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 15).

Таблица 15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Исполнители	
	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные - праздничные	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	24	72
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	175

Месячный должностной оклад работника определяется по формуле (8):

$$Z_M = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p, \quad (8)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (30 % от $Z_{\text{тс}}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок может иметь значение от 0,2 до 0,5 (от 20 до 50 % от $Z_{\text{тс}}$);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Результаты расчета основной заработной платы исполнителей научно-исследовательского проекта представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	З _{те} , тыс. руб.	к _{пр}	к _д	к _р	З _м , тыс. руб.	З _{дн} , тыс. руб.	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , тыс. руб.
Руководитель	23,264	0,3	0,3	1,3	48,389	2,430	18	43,740
Магистрант	1,906	0	0	1,3	2,478	0,159	63	10,017
Итого З _{осн}								53,757

4.2.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления от затрат на оплату труда работников по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования, медицинского страхования, пенсионного фонда.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы (9):

$$З_{внеб} = k_{внеб} * (З_{осн} + З_{доп}), \quad (9)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды (фонд обязательного медицинского страхования, пенсионный фонд и др.).

В соответствии со статьей 425 Налогового Кодекса Российской Федерации на 2019 год установлен размер страховых взносов равный 30 %. Для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, в 2019 году вводится пониженная ставка – 20 % (статья 427 НК РФ). Рассчитанные значения отчислений во внебюджетные фонды приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Заработная плата, тыс. руб.	
	Основная	Дополнительная
Научный руководитель	43,740	5,249
Магистрант	10,017	-
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,2	
Отчисления по строке «Научный руководитель»	9,798	
Отчисления по строке «Магистрант»	2,003	
Итого	11,801	

4.2.4.4 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Для научно-исследовательской работы рассчитанная величина затрат является основой для формирования общего бюджета затрат проекта, который защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции при формировании договора с заказчиком.

Результаты расчета итогового бюджета затрат научно-исследовательского проекта приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет бюджета затрат НТИ

Название статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	2423,9	
2. Затраты по основной заработной плате участников проекта	53757,0	
3. Затраты по дополнительной заработной плате участников проекта	5249,0	
4. Отчисления во внебюджетные фонды	11801,0	
5. Бюджет затрат научно-технического исследования	73230,9	Сумма ст. 1-4

4.2.5 Оценка эффективности применения различных брейкерных систем

Суть экспериментальной части работы состояла в обработке модельной жидкости гидроразрыва пласта на водной основе различными брейкерами (деструкторами) и их смесями. Для сравнения эффективности применявшихся в работе брейкеров представим их в сводной таблице Б.3, приложение Б.

Эффективность каждого из исследованных реагентов можно оценить по формуле (10):

$$I_{\text{эфф}} = \sum_{i=1}^n k_i * N_i, \quad (10)$$

где k_i – i -й весовой коэффициент;

N_i – оценка i -го критерия эффективности;

n – количество критериев эффективности.

Полученные в результате расчета по формуле (10) значения представлены в приложении Б, таблица Б.4.

Анализ таблицы Б.4 позволяет говорить о значительной эффективности химической деструкции модельной жидкости ГРП в том случае, если в качестве брейкера выступает лимонная кислота. Далее, в порядке убывания эффективности, возможно применение таких деструкторов, как уксусная кислота, дрожжи, а также смеси лимонной кислоты с перекисью водорода и перкарбонатом натрия. Менее значимым эффектом обладают молочная кислота производства Sigma Aldrich (II), гликолевая кислота (также произведена данной компанией) и молочная кислота производства M.C.D. Import & Export GmbH (I).

В целом применение наиболее эффективных видов деструкторов сочетает в себе невысокую стоимость и доступность реагентов, а также значительную эффективность обработки, которая выражается в приемлемой степени деструкции жидкости ГРП и минимальном количестве нерастворенного осадка.

5 Социальная ответственность

Настоящая магистерская диссертация посвящена исследованию реологических свойств жидкостей гидравлического разрыва пласта (жидкостей ГРП) на основе полимерных реагентов после их обработки деструкторами полимеров. В связи с этим в данном разделе магистерской диссертации произведен анализ возможных опасных и вредных факторов при работе с деструкторами в лабораторных условиях.

В качестве персонала рассматривается лаборант, рабочим местом которого является Научно-инновационная лаборатория «Буровые промывочные и тампонажные растворы» (далее – лаборатория).

В обязанности лаборанта входит выполнение лабораторных испытаний и измерений при проведении исследования. Согласно принятым инструкциям лаборант производит проверку, подготовку и регулировку необходимых для проведения экспериментов приборов. При этом он принимает и непосредственное участие в проведении экспериментов: проводит наблюдения, снимает показания, осуществляет все описанные в методике вспомогательные операции, ведет рабочий журнал. В соответствии с рекомендациями научного руководителя лаборант обрабатывает и систематизирует результаты измерений на заключительном этапе.

В качестве модельной жидкости ГРП принята смесь солевого раствора KCl (2 % масс.) и гуаровой камеди (0,3 % масс.); дополнительно в данную смесь вводится боратный сшиватель (4 мл/л). В качестве основных деструкторов выбраны кислотные растворы H_2SO_4 (20 % масс.), HNO_3 (15 % масс.), HCl (15 % масс.).

Целью данного раздела является описание мероприятий по обеспечению безопасности человека в процессе ведения производственной деятельности с сохранением его нормальной работоспособности и производительности, а также составление рекомендаций, выполнение которых необходимо для соблюдения требований по охране окружающей среды.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

При работе с химическими веществами работающие должны руководствоваться правилами Инструкции № 13-107 «По охране труда для работающих с химическими веществами. Научно-инновационная лаборатория «Буровые промывочные и тампонажные растворы» (далее – Инструкция № 13-107), инструкции по пожарной безопасности и рабочей инструкции по выполняемой деятельности [44].

Порядок приема на работу, нормы выдачи средств индивидуальной защиты, а также общие требования, предъявляемые к соискателям на должность лаборанта, в число которых входят: уровень профессионального образования, стаж работы по специальности, требуемый объем знаний и умений по профессии, приведены в Инструкции № 13-107 [46].

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Отсеки лаборатории, в которых проводятся эксперименты с химическими веществами первого и второго класса опасности, изолируются от других помещений, при этом обязательно создается специальный вход вентиляции для вытяжных шкафов, отделенный от основной вентиляционной системы здания.

Пол лабораторного помещения покрывается кислотоупорными материалами, например, керамической плиткой; потолок и стены окрашиваются краской.

Внутренние двери, предназначенные для перемещений между отдельными отсеками лаборатории, должны иметь прозрачное остекление и открываться в сторону выхода.

Рабочие столы и вытяжные шкафы, используемые для работы с токсичными химическими реагентами кислотно-щелочного типа должны иметь бортики, предотвращающие стекание жидкости на пол, и быть химически стойкими к воздействию всех применяемых реагентов [44]. Дверцы вытяжных

шкафов следует держать закрытыми с небольшим зазором внизу во время работ для обеспечения оптимальной тяги.

В химической лаборатории должно быть энергоснабжение, подводка горячей и холодной воды. Все электрооборудование должно быть заземлено. Разводка коммуникаций к переносным приборам и нестационарному оборудованию должна производиться открыто с применением гибких проводов и шлангов.

Электроосвещение помещения и вытяжных шкафов должно быть выполнено во взрывобезопасном исполнении. Активирующие их выключатели устанавливаются вне зоны вытяжных шкафов.

Металлические шкафы (сейфы), предназначенные для безопасного хранения химических веществ должны быть зарыты на ключ и опечатаны.

Включенные в состав производственного оборудования специальные технические средства (экраны, ограждения, вентиляторы), обеспечивающие снижение уровней вредных и опасных производственных факторов до допустимых значений или их полное устранение, не должны мешать выполнению основных работ [44].

В лабораторном помещении должны быть в наличии:

- аптечка с необходимым набором средств для оказания первой помощи при несчастном случае;
- первичные средства пожаротушения (огнетушители углекислотные и пенные, сухой песок);
- индивидуальные, а также коллективные средства защиты от воздействия применяемых химических веществ (халаты, респираторы, спецобувь, защитные очки, защитные перчатки) [44].

5.2 Профессиональная социальная безопасность

Вредные производственные факторы подразделяют на:

- факторы, приводящие к возникновению у работника хронических заболеваний; к данной группе также относятся факторы, которые усугубляют уже имеющиеся заболевания;

- факторы, приводящие к появлению у работника заболеваний, протекающих в острой форме (отравления, поражения), или травм вследствие кратковременного характера воздействия.

Опасные производственные факторы подразделяют на:

- факторы, действие которых создает условия для получения работником несовместимых с жизнью травм;
- факторы, действие которых создает опасность для получения работником травм, не являющихся смертельными, но выводящих его из строя на продолжительный промежуток времени [33].

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Гидроразрыв продуктивного пласта (ГРП) является одной из сложнейших операций в нефтегазодобывающей промышленности. В центре процесса гидроразрыва находится рабочая жидкость – жидкость гидроразрыва (жидкость ГРП). Так как объектом данного исследования является осуществляемый на заключительном этапе операции гидроразрыва процесс деструкции (разрушения) рабочей жидкости ГРП, при котором неизбежно взаимодействие с химическими веществами 3-го класса токсичности, то, согласно ГОСТ 12.0.003-2015 [33], выделяют вредные и опасные факторы производственной среды, представленные в таблице 19.

Таблица 19 – Вредные и опасные факторы, имеющие место в процессе деструкции рабочей жидкости ГРП

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Обработка рабочей жидкости ГРП деструкторами полимеров	Химические факторы токсического действия	Химические факторы раздражающего действия	ГН 2.2.5.3532-18 [2]

Опасное и вредное воздействие химических веществ заключается в:

- прямом поражении кожных покровов, органов дыхания и пищеварения (окисление, обугливание, химические ожоги);
- токсическом воздействии на организм человека (данный тип воздействия зависит от природы химических веществ, класса их опасности, агрегатного состояния и структуры данных веществ, а также путей их проникновения в организм человека);
- пожаро- и взрывоопасности [44].

Как уже было сказано ранее, в качестве типичных деструкторов полимеров, являющихся основой рабочей жидкости ГРП, применяются такие неорганические кислоты, например, соляная, азотная и серная. Химические вещества данного типа относятся к третьему классу токсичности, поэтому они являются общетоксическими химическими веществами. Это означает, что данные химические реагенты могут вызывать мышечные судороги, расстройства нервной системы, влияют на кроветворные органы, взаимодействуют с гемоглобином. При значительной дозе они могут вызывать резкое ухудшения самочувствия, что может привести к травме, или даже к летальному исходу.

Согласно ГН 2.2.5.3532-18 [34] установлены следующие значения предельно допустимых концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны:

- азотная кислота – 2 мг/м³;
- серная кислота – 1 мг/м³;
- соляная кислота – 5 мг/м³.

5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лабораторном помещении при проведении исследований

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 [33] можно выделить следующие вредные и опасные факторы производственной среды, представленные в таблице 20.

Таблица 20 – Вредные и опасные факторы при осуществлении исследований деструкторов полимеров в лаборатории

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Замешивание растворов полимеров. Разбавление кислот. Нагрев растворов.	1. Недостаточность естественного света. 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны. 3. Высокая температура поверхности оборудования. 4. Пониженная влажность воздуха. 5. Повышенная температура воздуха. 6. Загазованность воздуха рабочей среды.	1. Электрический ток. 2. Токсические и раздражающие химические факторы.	ГН 2.2.5.3532-18 [34] СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [35] ГОСТ 12.1.038-82 [36] ГОСТ Р 12.1.019-2017 [40] СанПиН 2.2.4.548–96 [41]

Нерациональная расстановка рабочих столов в лаборатории может привести к тому, что в рабочей зоне будет пониженная естественная освещенность. Негативно скажется и недостаточное количество источников искусственного освещения рабочего места лаборанта.

Плохое качество освещения оказывает отрицательное воздействие на функцию зрительного аппарата работника лаборатории, за счет чего определяет его зрительную работоспособность. При этом также дополнительно оказывается влияние на эмоциональное состояние и психику работника. Результатом прилагаемых усилий для опознания нечетких символов и световых сигналов является перенапряжение и усталость центральной нервной системы. Люди могут ощущать усталость глаз и переутомление, работая при освещении низкого уровня, что приводит к снижению работоспособности. В некоторых случаях это приводит к головным болям.

Коэффициент естественной освещенности (КЕО) представляет собой отношение освещенности, создаваемой в данной точке помещения светом неба, к одновременной освещенности точки, расположенной на горизонтальной плоскости вне этого помещения и освещенной рассеянным светом неба, выраженное в процентах. Нормативы искусственного, естественного и смешанного типов освещений согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [35] представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Нормы освещения для аналитической лаборатории

Помещение	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение				
		КЕО, %		КЕО, %		Освещенность, лк				
		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При комбинированном освещении		При общем освещении	Показатель дискомфорта (не более)	Коэффициент пульсации освещенности, % (не более)
						Всего	От общего			
Аналитическая лаборатория	$\Gamma^*-0,8$	4,0	1,5	2,4	0,9	600	400	500	40	10
Примечание: Γ^* – горизонтальная плоскость										

Лаборатория является оборудованным помещением для проведения исследований опытным путем. Для этого имеется различное оборудование, в том числе и нагревательного действия (плитка), которое может привести к ожогу при несоблюдении техники безопасности. Также возможен нагрев воздуха в

лаборатории и, как следствие, пониженная влажность и повышенная температура воздуха.

Оптимальные и допустимые нормативные значения показателей микроклимата согласно СанПиН 2.2.4.548–96 [41] приведены в таблицах 22 и 23.

Таблица 22 – Оптимальные величины показателей микроклимата в лаборатории

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Іб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
Теплый	Іб (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1

Таблица 23 – Допустимые величины показателей микроклимата в лаборатории

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Іб (140-174)	19,0-20,9	23,1-24,0	18,0-25,0	15-75	0,1	0,2
Теплый	Іб (140-174)	20,0-21,9	24,1-28,0	19,0-29,0	15-75	0,1	0,3

В качестве категории работ выбрана категория Іб, к которой относятся работы с интенсивностью энергозатрат от 121 до 150 ккал/ч (от 140 до 174 Вт), сопровождаемые незначительными физическими напряжениями и производимые в положениях сидя, стоя, либо связаны с ходьбой.

Период года называется холодным в том случае, если среднесуточная температура наружного воздуха принимает значение меньшее, чем +10°С, либо

равна ему. Аналогично этому, период года называется теплым, если среднесуточная температура наружного воздуха превышает величину $+10^{\circ}\text{C}$.

Оптимальные микроклиматические условия установлены согласно критериев оптимального функционального и теплового состояния человека. Оптимальные микроклиматические условия поддерживают ощущение теплового комфорта в период рабочей смены (продолжительностью 8 часов) с обеспечением минимальной работы механизмов терморегуляции. Оптимальные условия предпочтительны для всех рабочих мест, так как не приводят к проявлению отклонений в состоянии здоровья, а также позволяют поддерживать требуемый уровень работоспособности.

Критерии допустимого теплового и функционального состояния человека определяют допустимые микроклиматические условия на период рабочей смены с продолжительностью 8 часов. Допустимые микроклиматические условия не вызывают существенных негативных изменений в состоянии здоровья работника, однако, они могут стать причиной возникновения у работающего человека ощущений выхода за пределы оптимального теплового режима. Также в данном случае возможно ухудшение общего самочувствия, дополнительные затраты энергии на терморегуляцию организма работающего и, как следствие этого, снижение его производительности и работоспособности.

Любое электрическое оборудование может ударить работника током. Это может произойти либо при повреждении изоляции токоведущих проводов или частей оборудования, либо при отсутствующем заземлении оборудования.

Ток в теле человека оказывает электролитическое, термическое и биологическое действие. Электролитическое воздействие проявляется через разложение крови на фракции. Термическое воздействие выражается в ожогах, нагреве и повреждении сосудов. Биологическое воздействие проявляется через спазмы, нервные судороги, а также раздражение тканей [47].

Значения напряжений прикосновения и токов при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки согласно ГОСТ 12.1.038-82 [36] имеют следующие значения (не более):

– переменный ток, 50 Гц:

- 1) напряжение – 2 В;
- 2) сила тока – 0,3 мА;

– постоянный ток:

- 1) напряжение – 8 В;
- 2) сила тока – 1 мА.

Согласно ПУЭ [42] по классификации помещений по опасности поражения людей электрическим током лаборатория относится к помещениям без повышенной опасности, так как в данном помещении отсутствуют создающие повышенную или особую опасность условия.

Работа в лаборатории предполагает взаимодействие с различными реагентами и химическими веществами, в том числе с кислотами, пары которых при проведении опытов могут привести к сильной загазованности воздуха на рабочем месте.

Концентрированные пары и газы химикатов могут привести к токсическому отравлению лаборанта. Также едкие химические вещества вполне могут привести к раздражению кожных покровов, слизистой и даже к химическому ожогу. Предельно допустимые концентрации паров кислот представлены в разделе 5.2.1.

5.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

Значения естественного и искусственного освещений необходимо довести до регламентных значений согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [35]. Так как в лаборатории окна находятся только на одной стороне, то в помещении необходимо произвести планировку мебели таким образом, чтобы ни один из элементов лабораторной мебели не создавал тень для любой из рабочих зон. Лаборатория оборудована светильниками «Армстронг», каждый из которых содержит по 4 электролюминесцентные лампы. Каждый светильник имеет световой поток равные 5200 Лм. Все 6 светильников создают благоприятную для работы освещенность рабочей зоны.

Исследования в лаборатории предполагают работу с кислотами, пары которых могут привести к отравлению работников лаборатории. Также высока вероятность выделения газов в результате химических реакций химикатов, которые через дыхательные пути могут попасть в организм человека и нанести ему вред. В качестве коллективных средств защиты выступает шкаф с принудительной приточно-вытяжной вентиляцией, устройство которого позволяет добиться соблюдения нормативных ПДК паров кислот в рабочей зоне согласно ГН 2.2.5.3532-18 [34].

Для предотвращения получения химических ожогов и раздражения кожных покровов согласно ГОСТ 12.4.011-89 [37] всех работников лаборатории при проведении экспериментов необходимо обеспечить такими индивидуальными средствами защиты, как халат, резиновые перчатки, защитные очки, респираторы. Данные средства защиты также применимы для работников, осуществляющих закачку кислот в скважину.

Для исключения поражения электрическим током согласно ГОСТ Р 12.1.019-2017 [40] в качестве коллективных средств защиты необходимо применить усиленную изоляцию токоведущих частей электрооборудования. Также по всей лаборатории обязательно к применению защитное заземление всех электроустановок.

Для соблюдения поддержания показателей микроклимата на оптимальном уровне необходимо использовать систему кондиционирования, увлажнитель воздуха.

5.3 Экологическая безопасность

5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Процесс разрушения полимерной составляющей жидкости гидроразрыва предполагает применение химических реагентов, которые закачиваются в скважину для достижения целевой точки обработки – призабойной зоны пласта и трещины ГРП.

В случае некачественно проведенных подготовительных работ возможен разлив химикатов в непосредственной близости от фонтанной арматуры,

установленной на устье скважины. При этом под воздействием на литосферу будет пониматься химическое загрязнение почвы, что приведет к повышению их кислотности. Закисленные почвы будут иметь заниженную скорость разложения органических веществ, поскольку большая часть грибов и почвенных бактерий погибают в кислой среде. Также повышенная кислотность приводит к растворению соединений алюминия и переходу их в раствор, соединения в котором оказывают токсическое воздействие на корневые системы растений.

В результате химического выщелачивания в почве выделяются атомы тяжелых металлов, которые будут поступать в поверхностные воды, что приведет к их загрязнению. К тяжелым металлам относятся свинец, ртуть, марганец, железо, медь, цинк, кадмий и другие. Особо опасными для человека считаются свинец, ртуть и кадмий [45].

Предельно допустимая концентрация кислот в почвах регламентируется ГН 2.1.7.2041-06 [38]:

- азотная кислота – 130 мг/кг;
- серная кислота – 160 мг/кг;
- соляная кислота – 110 мг/кг.

Загрязнение атмосферы при испарении кислот и конденсировании взвеси в воздухе незначительно, поскольку в лаборатории используются очень малые концентрации кислот, а производственные условия на месторождении предполагают работы на открытой местности. Все это обеспечивает быстрое разбавление паров воздушными массами.

5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Как и любые отходы промышленности, отходы лабораторных исследований могут оказывать значительное отрицательное влияние на все компоненты природной среды – биосферу, гидросферу, атмосферу и литосферу. Воздействие, которое оказывают отходы, ведет к разрушению и гибели флоры и фауны, загрязнению воздуха, почвы и воды. Примерами могут служить кислотные осадки, возникающий парниковый эффект, разрушение озонового слоя, нарушение кислотности почв и другие явления.

Воздействие на атмосферу при работе в лаборатории происходит при вытягивании химических испарений через вытяжную вентиляцию. Однако, стоит отметить, что объемы реагентов, применяемых при одном эксперименте, не генерируют большое количество вредных газов/аэрозолей по сравнению, например, с промышленным предприятием.

На гидросферу оказывается значительное воздействие, так как весь объем химических реагентов утилизируется через сплавную систему бытовых стоков. При отсутствии надлежащей обработки данных стоков, велика вероятность попадания химикатов в водную систему жилой местности (города), что вызовет отравление гражданского населения.

Воздействие на литосферу является следственным фактором от вышеописанного. Загрязненные сточные воды попадая в водную систему местности также начинают оказывать негативное влияние на почвы, вызывая отравление растительности, изменяя кислотный состав почв.

5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

При выполнении опытов следует соблюдать инструкции и правила техники безопасности, производственной санитарии и пожарной безопасности, разработанные для данной лаборатории.

Поскольку концентрации генерируемых газов не большие, то достаточным методом защиты атмосферного воздуха будет рассеивание очищенных газов в атмосферном воздухе благодаря вытяжной вентиляции. Для очистки от возможных механических примесей следует применять угольный фильтр в канале вытяжной вентиляции.

Для защиты гидросферы в условиях лаборатории необходимо применение устройств с физико-химическими методами очистки. Широко распространена адсорбционная технология с применением активированных углей, которая позволяет получать остаточные концентрации основных загрязняющих веществ ниже нормативных значений. Поскольку площади помещения лаборатории недостаточно для установки полноценных очистных сооружений, то предполагается установка емкости объемом суточного

потребления воды в подвальном помещении, куда будут поступать стоки из лаборатории. Далее стоки будут забираться специальной машиной для проведения очистки сточных вод от химикатов и загрязнений.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Процесс разрушения полимерной составляющей жидкости гидроразрыва в призабойной зоне пласта и трещинах гидроразрыва не может вызвать какие-либо чрезвычайные ситуации (ЧС), так как данный процесс происходит глубоко под землей.

5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований

Согласно СП 12.13130.2009 [39] исследовательскую лабораторию можно отнести к категории помещения В «пожароопасные», так как в ней находятся твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (деревянная мебель, бумага и прочее).

К числу ЧС, возникновение которых возможно в лаборатории, следует отнести пожар. Данная ситуация может возникнуть в случае короткого замыкания электропроводки, либо при неисправности электроприборов. Пожароопасная ситуация может возникнуть при работе с определенными типами химических веществ, склонными к возгоранию; такие вещества могут являться продуктами химических реакций других веществ, не отличающихся подобными пожароопасными свойствами.

5.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Для предупреждения проявления вышеописанной чрезвычайной ситуации необходимо проведение организационных, технических, эксплуатационных и режимных мероприятий по пожарной профилактике.

К организационным мероприятиям относится проведение противопожарного инструктажа раз в год. Необходимо знать план эвакуации в случае возникновения ЧС.

Возможность возникновения пожара непосредственно в лаборатории связана с применением электрических приборов, неисправностями электропроводки помещения, а также с проведением химических реакций с веществами, склонными к возгоранию; также пожаро- и взрывоопасные вещества могут образовываться в результате таких реакций (например, кислород и водород). Работы, связанные с выделением таких веществ, должны производиться только в исправных вытяжных шкафах.

Правила работы с электрическими приборами в помещении должны быть вывешены на видном месте. Перед включением электроприборов сеть необходимо тщательно осмотреть электрошнур: проверить исправность изоляции, устранить резкие перегибы, перекручивания. Работать следует исключительно на исправных электроприборах и оборудовании.

Электрические приборы запрещается включать без необходимости. Электронагревательные приборы можно устанавливать только на теплоизоляционный слой. Перед включением печей следует убедиться в том, что внутри нет посторонних предметов.

Запрещается оставлять без присмотра действующее оборудование, аппаратуру, поточные линии, газовые и спиртовые горелки, включенные электронагревательные приборы.

Если в процессе работы в лаборатории произошло возгорание проводов или электроприборов, их следует немедленно отключить от сети, а затем погасить огонь, применив огнетушитель углекислотного типа, либо используя покрывала из негорючих материалов, которые способны обеспечить надежное прекращение доступа кислорода к источнику возгорания [44].

Сотрудники лаборатории обязаны знать расположение электрощитка, с помощью которого возможно отключение электропроводки лаборатории от общей сети, а также места расположения средств пожаротушения. Немаловажным является умение правильно применять данные средства в случае возникновения пожара.

В лаборатории запрещается:

- загромождать проход, а также проход к средствам пожаротушения;
- сушить горючие предметы на отопительных радиаторах;
- мыть полы и оборудование с использованием горючих жидкостей (бензин, керосин, различного рода растворителей);
- оставлять в рабочей зоне бумагу и ветошь, в том числе пропитанные горючими жидкостями;
- хранить в помещении лаборатории какие-либо вещества с неизвестными пожароопасными свойствами;
- пользоваться электронагревательными приборами с открытой спиралью;
- убирать случайно пролитые горючие жидкости при зажжённых горелках, включенных электронагревательных приборах;
- хранить химические вещества в немаркированной посуде;
- производить работы на оборудовании с неисправностями, которые могут привести к пожару.

Технические мероприятия предполагают монтирование и эксплуатацию электроустановок в соответствии с правилами устройства электроустановок. Обязательным является наличие противопожарной сигнализации, которая при срабатывании осуществит оперативное оповещение людей о необходимости эвакуации. Лаборатория должна быть оборудована такими противопожарными средствами, как огнетушители. Углекислотные огнетушители (типа ОУ-2) применяются при тушении возгораний различных веществ, кроме тех, горение которых происходит без доступа кислорода, а также электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Порошковые огнетушители (типа ОП-10) применяются при тушении нефтепродуктов и электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В.

Эксплуатационные мероприятия заключаются в том, что при обнаружении дефектов в изоляции приборов, неисправности пускателей, вилок, розеток, а также заземления следует оперативно уведомить об этом ответственное лицо за противопожарное состояние лаборатории. Все

неисправности, касающиеся электрооборудования, должны устраняться исключительно специалистом-энергетиком. Запрещается ремонтировать и переносить включенные электрооборудование, находящееся под напряжением.

К режимным мероприятиям относятся запрет курения в лаборатории.

Порядок действий в случае возникновения ЧС:

- остановить электрооборудование;
- отключить вентиляцию;
- немедленно сообщить о случившемся по телефону в пожарную охрану – 01, 101, 112 (необходимо сообщить адрес объекта, место возникновения пожара, свою фамилию);
- сообщить по телефону заведующему лабораторией и охране корпуса №19;
- при необходимости отключить электроэнергию;
- принять меры по ликвидации очага возгорания при помощи первичных средств пожаротушения (огнетушитель, вода, песок);
- при необходимости удалить с места возгорания горючие вещества и материалы [43].

Заключение

Проведенный обзор литературных источников по тематике магистерской диссертации позволяет говорить о чрезвычайной важности и сложности проблемы, затрагиваемой в данной работе. Недоразрушение сшитого геля ГРП в пустотном пространстве проппантной пачки ведет к значительному снижению ее проницаемости и проводимости для поступающих из продуктивного пласта флюидов.

Зачастую это приводит к уменьшению продуктивности данной скважины, в случае, если она является добывающей, или же к снижению её приемистости, для случая, если рассматриваемая скважина нагнетательная. Но даже во втором варианте итогом является снижение общей продуктивности сетки скважин, в частности тех, что находятся в зависимом положении от данной нагнетательной скважины.

Поэтому, для того, чтобы загрязнение эффективного пустотного пространства было минимальным, требуется применять такие разновидности брейкеров, которые способны разрушать полимерную основу жидкости ГРП максимально качественно и с минимальными временными затратами.

Однако, у данного решения могут быть и отрицательные последствия. Подобные разновидности брейкеров могут начать действовать раньше срока, указанного в проектной документации. Это, безусловно, приведет к раннему разрушению части жидкости ГРП, что может стать причиной меньшей глубины проникновения трещины в породу-коллектор. При этом, трещина уже не сможет вместить в себя тот объем проппанта, который был запланирован проектом. Поэтому, после закрытия трещины, её ширина может быть намного меньше той требуемой ширины, которая позволила бы достичь наибольшего значения дебита добычи пластовых флюидов.

Из этого следует, что подбор наиболее эффективного с технико-экономической точки зрения брейкера является немаловажным аспектом в процессе проектирования и осуществления операций гидроразрыва продуктивного пласта.

Несмотря на значительный объем экспериментов и теоретических изысканий, проведенных в данной работе, можно сказать, что область, в которой возможно проведение дальнейших исследований во много раз превышает ту малую часть, что была затронута в данной работе.

На данный момент особенно хотелось бы отметить некоторые из возможных направлений дальнейших исследований, к числу которых возможно отнести:

- рассмотрение других видов деструкторов;
- проведение экспериментов с другими рецептурами модельной жидкости ГРП, наиболее приближенными к реальным;
- расширение охватываемых интервалов концентраций брейкеров за счет рассмотрения областей, не исследованных в данной работе;
- проведение более подробной оценки влияния механической и термической деструкции.

Список использованных источников

1. Рябоконь С.А. Жидкости-песконосители для гидроразрыва пласта / С.А. Рябоконь, А.С. Нечаев, Е.В. Чагай. – М.: ВНИИОЭНГ, 1987. – 51 с.
2. Силин М.А. Анализ содержания бора в пластовых водах с целью оценки возможности применения этих вод для приготовления жидкости гидроразрыва пласта [Текст] / М.А. Силин, Л.А. Магадова, Л.А. Фёдорова // Нефтепромысловое дело. – 2010. – № 8. – С. 17-19.
3. Каневская Р.Д. Математическое моделирование разработки месторождений нефти и газа с применением гидравлического разрыва пласта / Р.Д. Каневская. – М.: Недра-Бизнесцентр, 1999. – 212 с.
4. Кутлубулатов А.А. Влияние рецептуры геля гидроразрыва пласта на проводимость проппантной пачки / А.А. Кутлубулатов // Теория. Практика. Инновации. – 2018. – № 6 (30).
5. Economides M. J. Reservoir Stimulation / M. J. Economides, K. G. Nolte. – John Wiley & Sons, Inc., 2000.
6. Enzyme Breaker for Galactomannan Based Fracturing Fluid: US Patent № 5201370, 13.04.1993.
7. New fluid technology allows fracturing without internal breakers / J. Weaver, E. Schmelzl, M. Jamieson, G. Schiffner // SPE Gas Technology Symposium. – 2002.
8. Rae P. Fracturing fluids and breaker systems / P. Rae, G. Lullo // SPE Eastern Regional Meeting. – 1996.
9. Reza Barati Ghahfarokhi. Fracturing fluid cleanup by controlled release of enzymes from polyelectrolyte complex nanoparticles / PhD dissertation. – University of Kansas, USA. – 2010.
10. Магадова Л.А. Разработка жидкостей разрыва на водной и углеводородной основах и технологий их применения для совершенствования процесса гидравлического разрыва пласта [Текст]: дис. ... докт. техн. наук: 02.00.11 / РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. – М., 2007. – 370 с.

11. Деструкция геля для ГРП с применением окислительного деструктора и соляной кислоты / Л.А. Магадова, Л.А. Федорова, О.Ю. Ефанова, Д.Н. Малкин, В.Р. Магадов // Территория Нефтегаз. – 2010. – № 10. – С. 60-61.
12. Principles of Biochemistry / R.H. Horton, L. A. Moran, R. S. Ochs, J. D. Rawn, K. G. Scrimgeour. – Prentice Hall: 1996.
13. Elbel J. L. The use of viscosity stabilizers in high temperature fracturing / J. L. Elbel, R. L. Thomas // SPE Rocky Mountain Regional Meeting. – 1980.
14. Effects of oxygen on fracturing fluids / M. L. Walker, C. E. Shuchart, J. G. Yaritz, L. R. Norman // SPE International Symposium. – 1995.
15. Glenn S. Penny. Fluid Leakoff / S. Penny Glenn, M.W. Conway // SPE Monograph Volume 12: Recent Advances in Hydraulic Fracturing. – 1987.
16. Hutchins R. E. Stimulation Fluids Adviser at Schlumberger / R. E. Hutchins. – Sugarland, 2008.
17. Cheng Y. Enzymatic Degradation of Guar and Substituted Guar / Y. Cheng, R. K. Prud'homme // Biomacromolecules. – 2000. – № 1 (4). – P. 782-788.
18. Гуторов Ю.А. Технология повышения нефтеотдачи посредством гидродинамического воздействия на продуктивный коллектор: практическое пособие / Ю.А. Гуторов, Л.Р. Фурсова. – РКНТИЦ. – 2013. – 119 с.
19. Беспolyмерная технологическая жидкость для гидроразрыва пласта на основе вязкоупругих поверхностно-активных веществ / М.А. Силин; Л.А. Магадова, Д.Н. Малкин, П.К. Крисанова, С.А. Бородин, Фан Ву Ань // Территория Нефтегаз. – 2017. – № 5. – С. 36-43.
20. Никитин А.Н. Контроль качества материалов гидроразрыва пласта в ООО «РН-Юганскнефтегаз» / А.Н. Никитин [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2012. – №11. – С. 41–43.
21. Сахибгараев Р.Р. Исследование образования фильтрационной корки при гидроразрыве пласта / Р.Р. Сахибгараев, Р.Ф. Шакирова, Р.Р. Сахибгараева // Нефтегазовое дело. – 2016. – №6. – С. 102-120.
22. Шумилкина, О.В. Исследование механодеструкции полимерных реагентов буровых промывочных жидкостей [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ.

- канд. техн. наук (25.00.15) / Шумилкина Оксана Васильевна; Общ. С огр. Ответств. «Волго-Уральский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа». – Москва, 2012. – 28 с.
23. Карасева С. Я. Химические реакции полимеров: учебное пособие / С.Я. Карасева, В.С. Саркисова, Ю.А. Дружинина. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. – 125 с.
24. Крылов В.И. Выбор жидкостей для заканчивания и капитального ремонта скважин: учебное пособие / В.И. Крылов, В.В. Крецул. – М.: Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, 2005. – 196 с.
25. Muhammad Usman Sarwar. Degradation of guar-based fracturing gels: a study of oxidative and enzymatic breakers / Master's thesis. – Texas A&M University, USA. – 2010.
26. Rheological Properties of Guar Galactomannan Solutions during Hydrolysis with Galactomannanase and α -Galactosidase Enzyme Mixtures / Shamsheer Mahammad, Donald A. Comfort, Robert M. Kelly, and Saad A. Khan // *Biomacromolecules*. – 2007. – № 8. – P. 949-956.
27. Прикладная экобиотехнология [Электронный ресурс]: учебное пособие: в 2 т. Т. 1 / А.Е. Кузнецов [и др.]. – 2-е изд. (эл.). – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 629 с.: ил., [4] с. цв. вкл. – (Учебник для высшей школы).
28. Базаревская В.Г. Перспективы разработки доманиковых отложений республики / В.Г. Базаревская, М.Х. Мусабиров, А.Ф. Яртиева // Особенности разведки и разработки месторождений нетрадиционных углеводородов: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Казань: Ихлас, 2015. – С. 122-125.
29. РД 153-39.0-865-14. Методическое руководство по опробованию доманиковых отложений вертикальных и горизонтальных скважин, по выбору технологий гидроразрыва пласта и кислотных обработок призабойной зоны: введен впервые / Р.Ш. Динмухамедов, К.М. Гарифов, Т.И. Тарасов, В.Г. Базаревская, А.Ф. Яртиева, Д.А. Тимиров, О.В. Преснякова; Институт «ТатНИПИнефть». – Бугульма, 2014. – 14 с.

30. Microemulsion and nanoemulsion breaker fluids with organic peroxides: US Patent № 9475980 B2, 25.10.2016.
31. Заикина Н.А. Образование органических кислот, выделяемых с объектов, поражённых биокоррозией / Н.А. Заикина, Н.В. Дуганова // Микология и фитопатология. – 1975. – Т. 9. – № 4. – С. 303–306.
32. Исследование возможности биологической утилизации буровых шламов, содержащих полисахариды / Е.В. Максина, А.О. Гурьянова, В.В. Ермаков, Д.Е. Быков, А.В. Лямин // Известия Самарского научного центра РАН. – 2013. – Т. 15. – № 3(6). – С. 1850-1852.
33. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
34. ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
35. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий
36. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов
37. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация
38. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве
39. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности
40. ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
41. СанПиН 2.2.4.548-96 Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
42. Правила устройства электроустановок (ПУЭ)
43. Инструкция о мерах пожарной безопасности в научно-инновационной лаборатории «Буровые промывочные и тампонажные растворы»

44. Инструкция № 13-107 по охране труда для работающих с химическими веществами. Научно-инновационная лаборатория «Буровые промывочные и тампонажные растворы»
45. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учебник для бакалавров / С.В. Белов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт; ИД Юрайт, 2013. – 682 с.
46. Типовая инструкция по охране труда для лаборанта химического анализа / Охрана труда в России (электронный ресурс). Режим доступа: свободный. URL: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/392170/ (дата обращения: 24.02.2019)
47. Воздействие тока на организм человека / АО Энергетик (электронный ресурс). Режим доступа: свободный. URL: http://www.energetik-ltd.ru/statii/statii6/vozdeystvie_toka_na_organizm_cheloveka (дата обращения: 24.02.2019)

Приложение А (справочное)

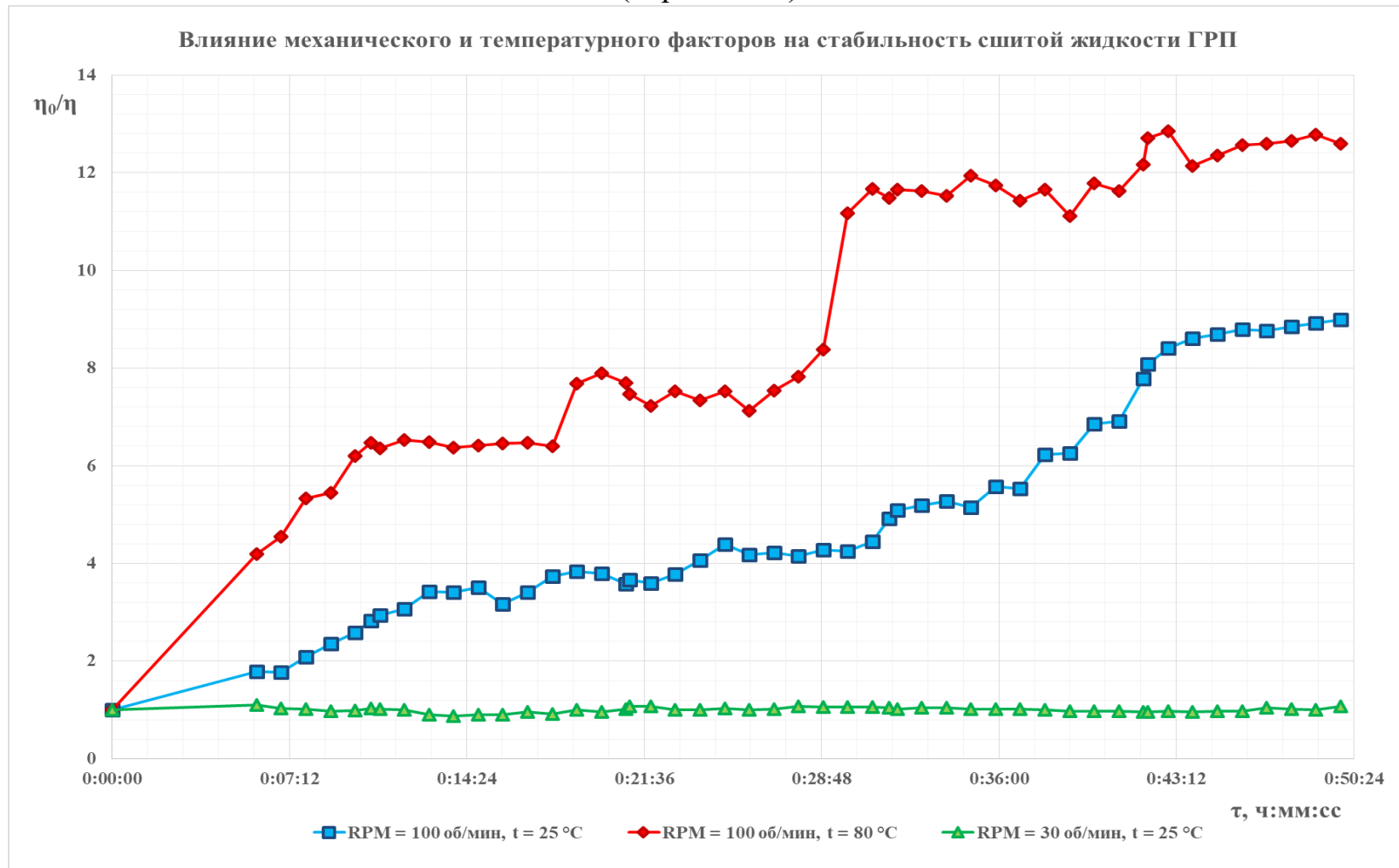


Рисунок А.1 – Влияние механического и температурного факторов на стабильность сшитой жидкости ГРП

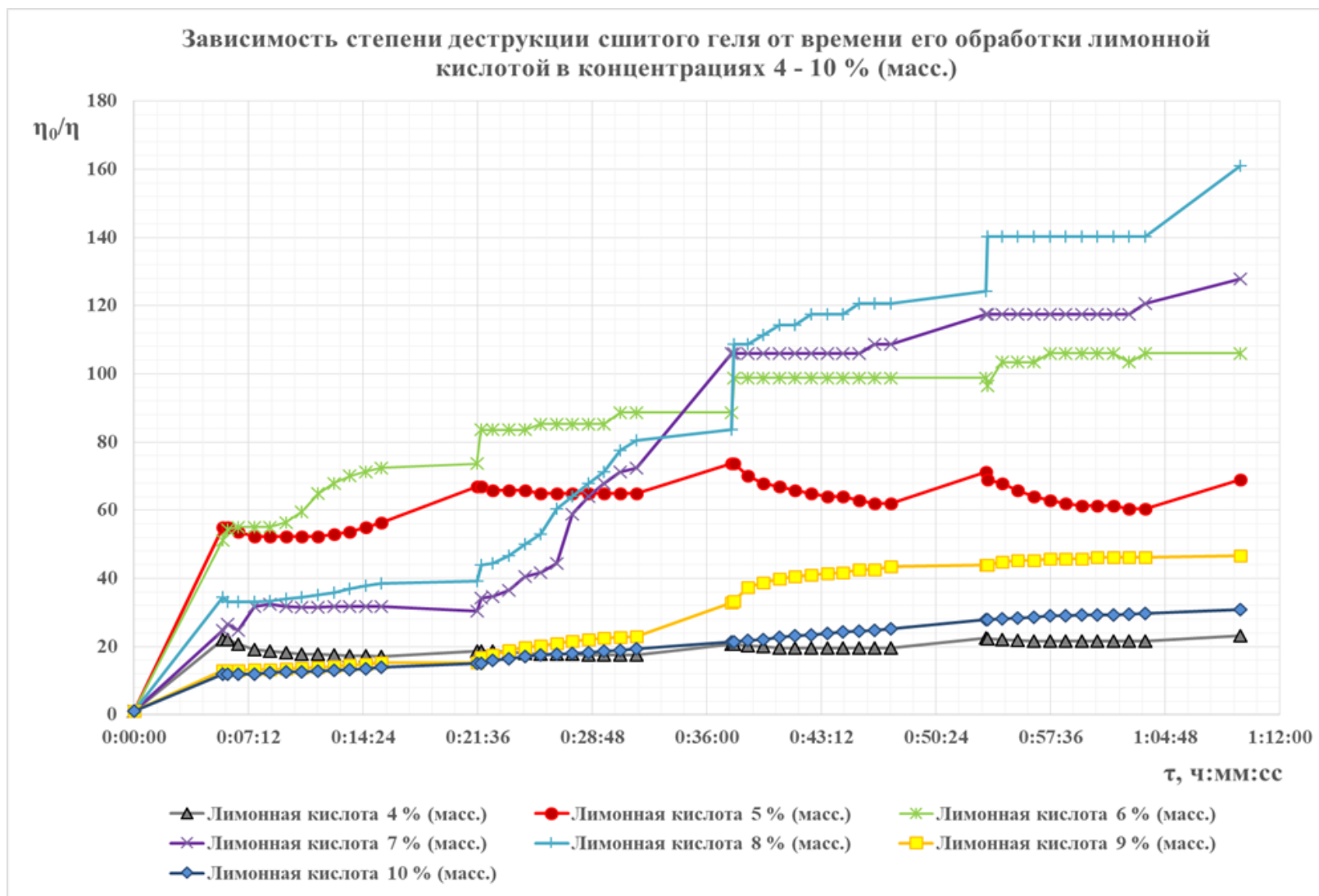


Рисунок А.2 – Зависимость степени деструкции сшитого геля от времени его обработки лимонной кислотой в концентрациях от 4 до 10 % (масс.)

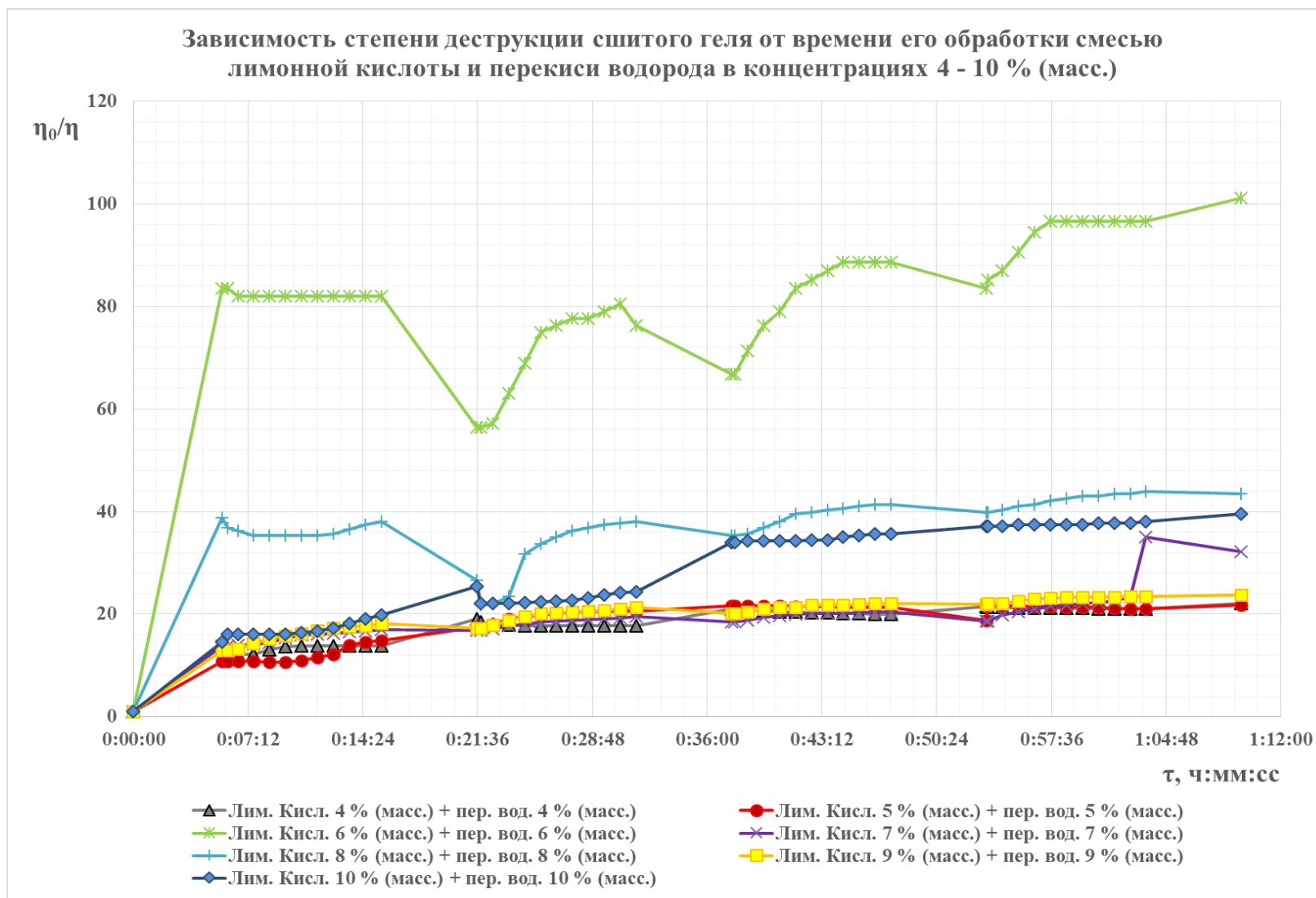


Рисунок А.3 – Зависимость степени деструкции сшитого геля от времени его обработки смесью лимонной кислоты и перекиси водорода в концентрациях от 4 до 10 % (масс.)

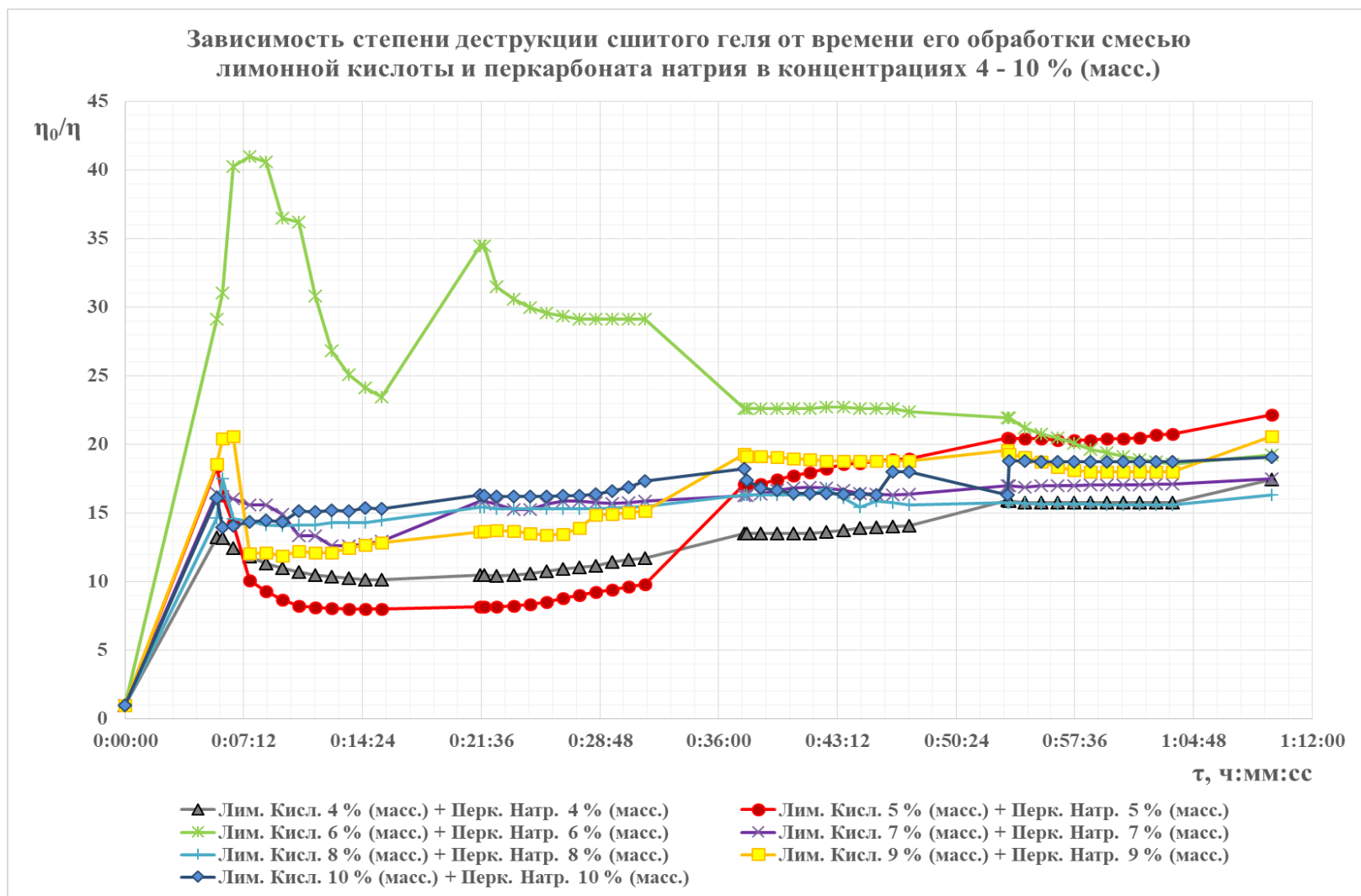


Рисунок А.4 – Зависимость степени деструкции сшитого геля от времени его обработки смесью лимонной кислоты и перкарбоната натрия в концентрациях от 4 до 10 % (масс.)

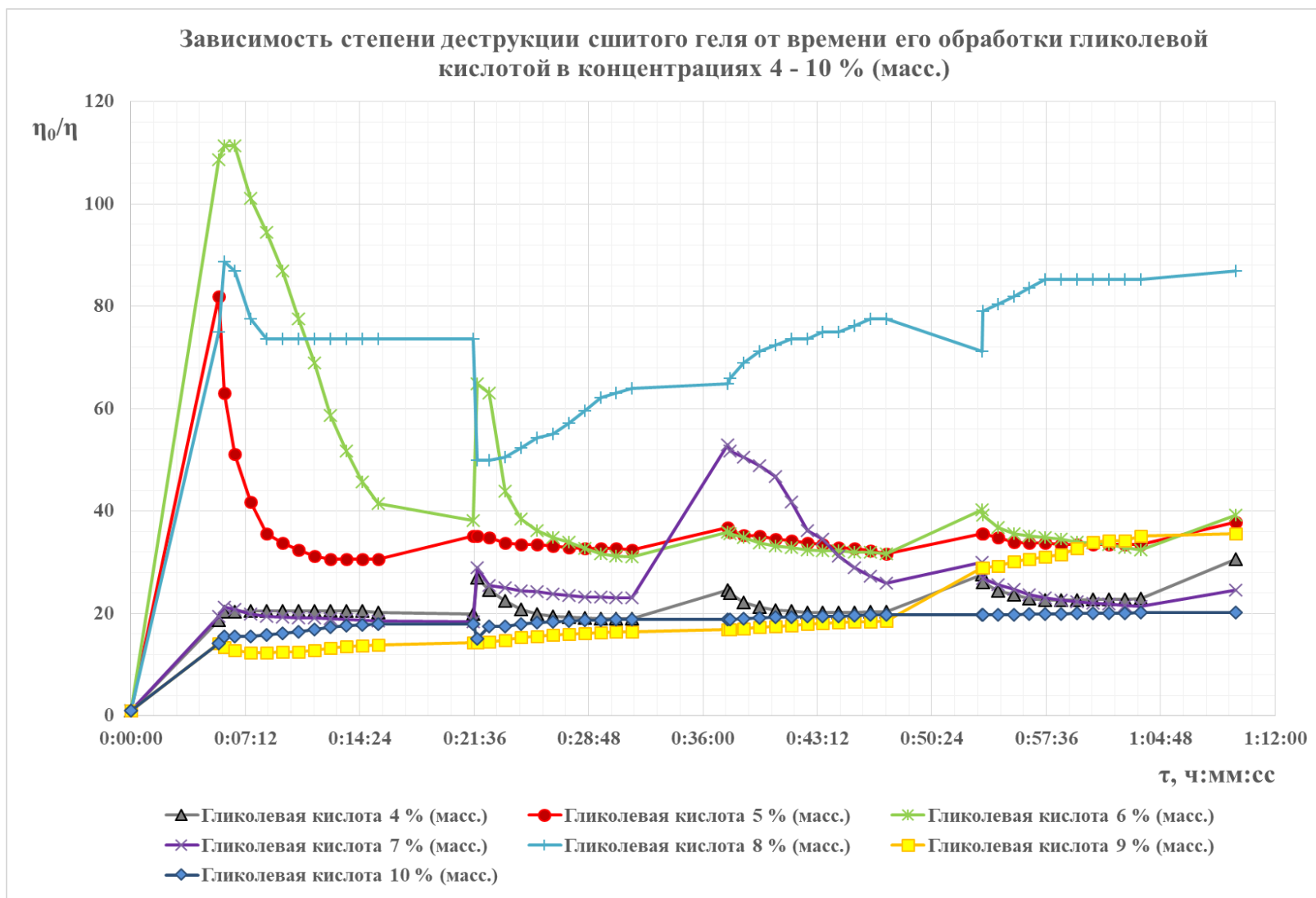


Рисунок А.5 – Зависимость степени деградации сшитого геля от времени его обработки гликолевой кислотой в концентрациях от 4 до 10 % (масс.)

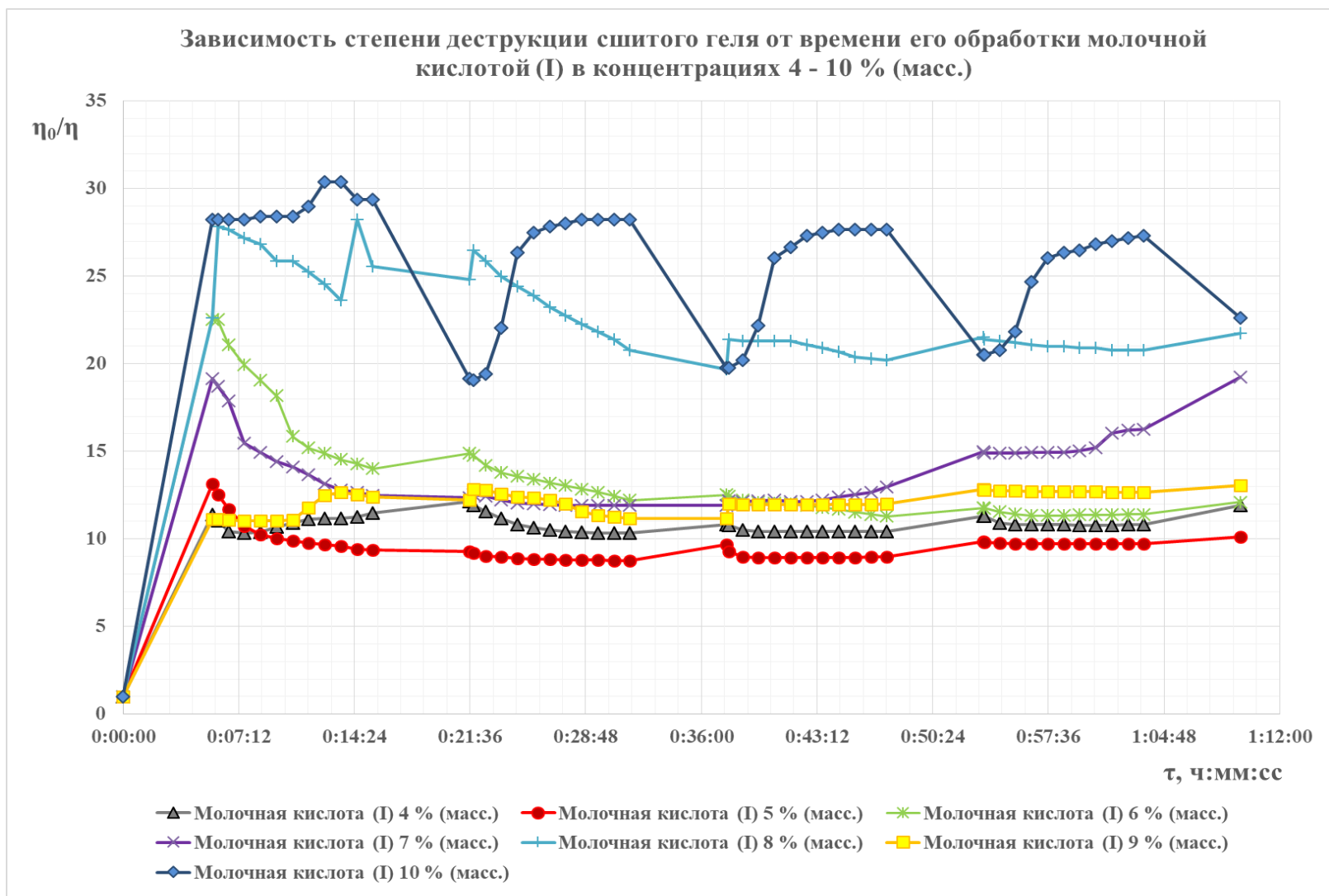


Рисунок А.6 – Зависимость степени деструкции сшитого геля от времени его обработки молочной кислотой I (М.С.Д. Import & Export GmbH) в концентрациях от 4 до 10 % (масс.)

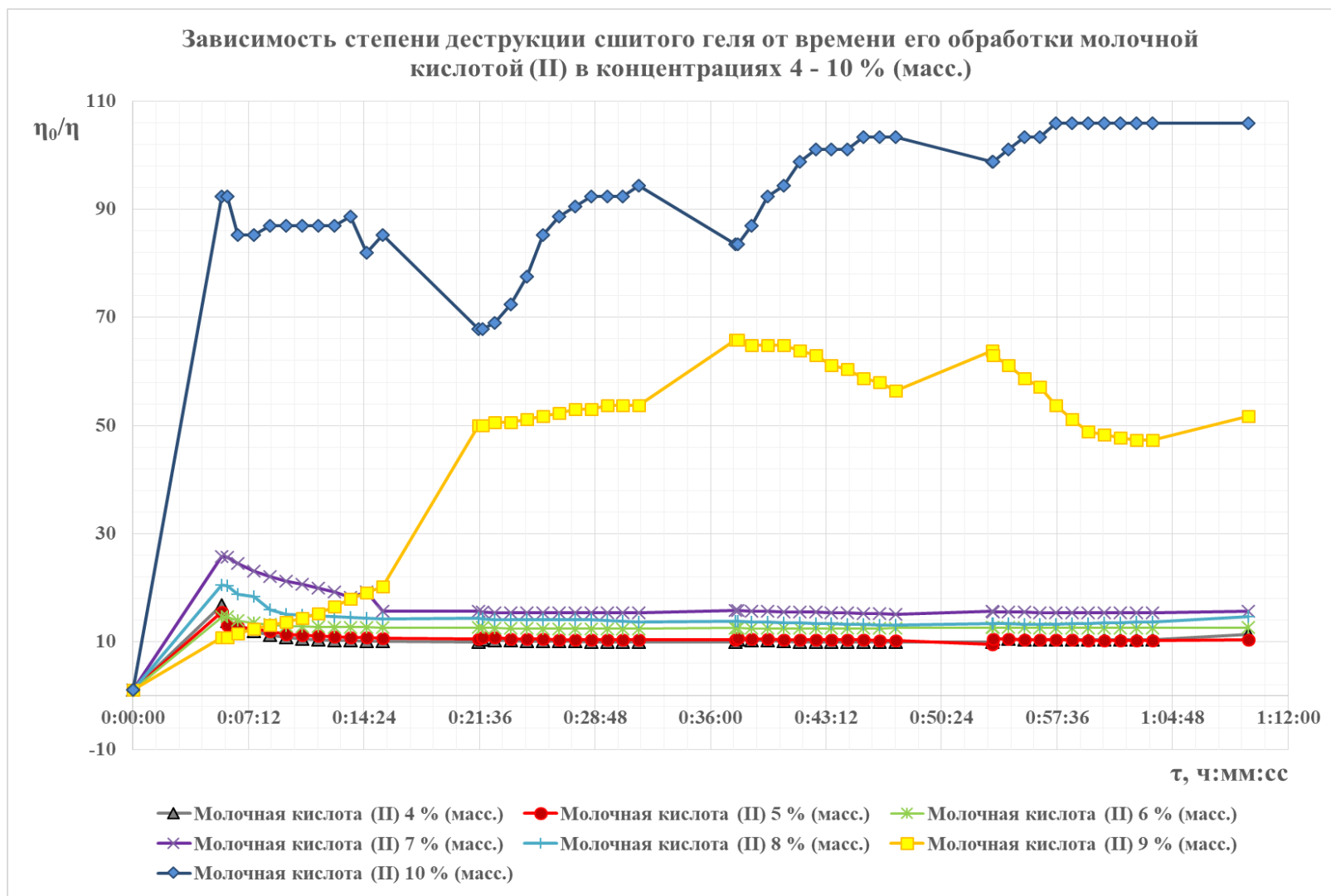


Рисунок А.7 – Зависимость степени деструкции сшитого геля от времени его обработки молочной кислотой II (Sigma Aldrich) в концентрациях от 4 до 10 % (масс.)

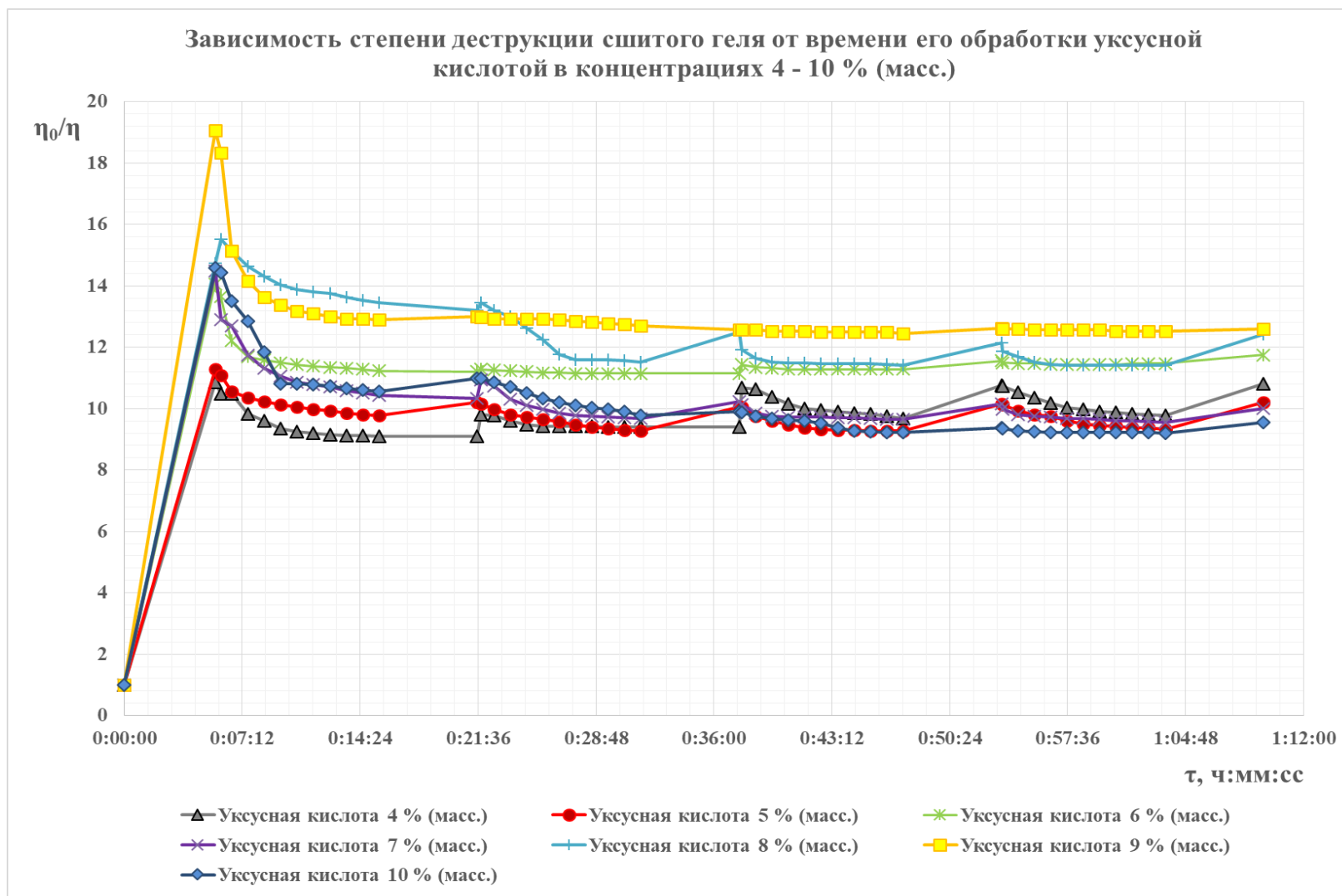


Рисунок А.8 – Зависимость степени деструкции сшитого геля от времени его обработки уксусной кислотой в концентрациях от 4 до 10 % (масс.)

Приложение Б
(справочное)

Таблица Б.1 – Результаты первого этапа SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1.Бюджетное финансирование; С2.Квалифицированный персонал; С3.Предварение практического применения в промышленных условиях; С4.Современное оборудование.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1.Использование упрощенных моделей при проведении экспериментов; Сл2.Отсутствие оборудования для значительной точности моделирования пластовых условий; Сл3.Необходимость закупки расходных материалов и реагентов; Сл4.Отсутствие весомого опыта в области разрушения полимеров.
Возможности: В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ; В2.Сотрудничество с предприятиями – потенциальными потребителями технологии; В3.Получение гранта для последующих исследований; В4.Увеличение стоимости конкурентных исследований.		
Угрозы: У1.Отсутствие спроса на результаты исследования; У2.Развитие более эффективных аналогов данного проекта у конкурентов; У3.Урезание бюджета исследования; У4.Влияние упрощенных моделей на результаты исследований.		

Таблица Б.2 – Результаты третьего этапа SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1.Бюджетное финансирование;</p> <p>С2.Квалифицированный персонал;</p> <p>С3.Предварение практического применения в промысловых условиях;</p> <p>С4.Современное оборудование.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1.Использование упрощенных моделей при проведении экспериментов;</p> <p>Сл2.Отсутствие оборудования для значительной точности моделирования пластовых условий;</p> <p>Сл3.Необходимость закупки расходных материалов и реагентов;</p> <p>Сл4.Отсутствие весомого опыта в области разрушения полимеров.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ;</p> <p>В2.Сотрудничество с предприятиями – потенциальными потребителями технологии;</p> <p>В3.Получение гранта для последующих исследований;</p> <p>В4.Увеличение стоимости конкурентных исследований.</p>	<p>«Сильные стороны и возможности»:</p> <p>В1С2С3 – проведение исследований в рамках проекта осуществляется на базе научно-исследовательской лаборатории ТПУ, допуск к которой имеет высококвалифицированный персонал; оборудование лаборатории позволяет произвести качественную оценку характеристик рабочих жидкостей гидроразрыва, а также исследовать влияние обработок их различными реагентами-брейкерами до наступления этапа закачки данных реагентов в скважину;</p>	<p>«Слабые стороны и возможности»:</p> <p>В2Сл4 – возможно обоюдное получение опыта научным персоналом предприятия-потребителя и сотрудниками научно-исследовательской лаборатории при налаживании контактов;</p>

Продолжение таблицы Б.2

	<p>В2С2С3С4 – квалифицированный персонал наряду с современным оборудованием выступают гарантом качества проводимых работ; практическая значимость исследований может привлечь внимание нефтегазодобывающих предприятий – потенциальных потребителей данной технологии;</p> <p>В3С2С3С4 – научный потенциал сотрудников научно-исследовательской лаборатории, подкрепляемый наличием современной материально-технической базы и актуальностью проблемы, может стать серьезным аргументом в пользу выделения дополнительных инвестиций в виде гранта для исследований.</p>	<p>В3Сл2Сл3 – возможно финансирование закупки дополнительного исследовательского оборудования, основанного на моделях значительной точности, а также выделение денежных средств на приобретение расходных материалов и реагентов.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1.Отсутствие спроса на результаты исследования;</p> <p>У2.Развитие более эффективных аналогов данного проекта у конкурентов;</p> <p>У3.Урезание бюджета исследования;</p> <p>У4.Влияние упрощенных моделей на результаты исследований.</p>	<p>«Сильные стороны и угрозы»:</p> <p>У2С2С4 – технологии конкурентов, направленные на исследования в аналогичной области знаний, могут быть значительно эффективнее в случае, если они обеспечиваются более квалифицированным персоналом, а также намного более точным и оборудованием, при помощи которого возможно моделировать рабочие условия, максимально приближенные к реальным;</p>	<p>«Слабые стороны и угрозы»:</p> <p>У1Сл1Сл2 – данные исследования могут не иметь практической значимости для заказчиков из-за применяемых упрощений;</p> <p>У2Сл1Сл2Сл4 – неполные моделируемые условия, упрощения и отсутствие практических навыков в области разрушения полимеров могут привести к значительному продвижению исследований конкурентов;</p>

Продолжение таблицы Б.2

		<p>У3Сл3 – снижение финансирования может остановить исследования вследствие невозможности закупки реагентов и расходных материалов;</p> <p>У4Сл1Сл2 – принятие сильно упрощенных моделей реальных условий при проведении экспериментов может привести к получению некорректных результатов.</p>
--	--	---

№	Виды работ	Исполнители	T _{кi} , кал. дни	Продолжительность выполнения работ*															
				Февраль				Март				Апрель				Май			
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	4	■															
2	Выбор направления исследований	Научный руководитель	7		■														
3	Подбор и изучение литературы по теме магистерской диссертации	Магистрант	25			■	■	■	■	■									
4	Календарное планирование работ	Научный руководитель Магистрант	2						■	■									
5	Поиск теоретических положений о деструкции полимерных реагентов	Магистрант	7						■	■									
6	Проведение экспериментов по разрушению полимеров с помощью определенных деструкторов	Магистрант	46								■	■	■	■	■	■	■	■	■
7	Оценка результатов исследований	Научный руководитель Магистрант	6														■	■	
8	Подготовка пояснительной записки	Научный руководитель Магистрант	7															■	■

*Примечание к рисунку: ■ - Научный руководитель ■ - Магистрант

Шкала продолжительности выполнения работ на плане - в неделях

Рисунок Б.1 – Календарный план-график проведения НИР по теме магистерской диссертации

Таблица Б.3 – Сравнение различных видов брейкеров и их смесей

Критерии эффективности	Весовой коэффициент	Брейкеры (деструкторы) и их комбинации							
		Лимонная кислота	Лимонная кислота + перекись водорода	Лимонная кислота + перкарбонат натрия	Гликолевая кислота	Молочная кислота (I)	Молочная кислота (II)	Уксусная кислота	Дрожжи
Простота проведения обработки	0,10	10	6	6	7	7	7	6	10
Степень деструкции полимера	0,30	8	7	7	6	5	6	8	8
Стоимость реагента	0,15	10	9	9	3	6	6	10	10
Отсутствие нерастворимого осадка	0,30	8	8	8	7	6	7	8	5
Доступность реагента	0,15	10	8	8	4	4	4	10	10

Таблица Б.4 – Оценка эффективности применения различных видов деструкторов

Параметр	Брейкеры (деструкторы) и их комбинации							
	Лимонная кислота	Лимонная кислота + перекись водорода	Лимонная кислота + перкарбонат натрия	Гликолевая кислота	Молочная кислота (I)	Молочная кислота (II)	Уксусная кислота	Дрожжи
Оценка эффективности	8,80	7,65	7,65	5,65	5,50	6,10	8,40	7,90

Приложение В
(справочное)

Existing processes of destruction of water based hydraulic fracturing fluids

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ73	Губарев М.И.		

Руководитель ВКР Отделения нефтегазового дела

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Глотова В.Н.	к.т.н.		

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Лысунец Т.Б.	-		

Introduction

Removal of hydraulic fracturing fluid from the formation is one of the most important processes at the final stage of the fracturing operation. The reason for this is the necessity to maintain the permeability and conductivity of the proppant pack at a sufficient level.

It is possible to achieve this goal if the most effective type of destructor is applied. Destructors (breakers) of fracturing fluids, currently used, belong to certain types of destruction processes.

The objectives of this section are:

- determination of the negative impact of fracturing fluids on the permeability and conductivity of the proppant pack;
- identification of existing types of fracture of hydraulic fracturing fluids found in literary sources;
- evaluation of the effectiveness of the identified types of destruction for further research.

1 The effect of the type of fracturing fluid used on the permeability of the proppant pack and the reservoir

When conducting fracturing operations using water-based fracturing fluids, there is a serious problem of deterioration of the reservoir filtration properties due to clogging of the pore space of the reservoir and cracks formed by residues of the polymer gel not destroyed until the end [19].

1.1 Colmatation of the pore space of the proppant pack during hydraulic fracturing with water-based fracturing fluids

The reduced conductivity value of the proppant pack due to residual fracture fluid is one of the main problems leading to the failure to reach the potential production rate of production wells after hydraulic fracturing. Moreover, the higher the average permeability of the reservoir, the greater the effect of reducing.

The fracturing fluids that are pumped under high pressure into the reservoir are prepared on the basis of guar gels with the addition of a crosslinker and breaker-destructor of polymers. In the case of non-destruction of the polymer component after

placing the proppant pack, a super-viscous, difficult to remove gel-like mass is formed, which blocks both the fracture space and the pore space of the bottomhole zone of the reservoir.

For the subsequent filtration of the gel from the crack by breaking the fracturing fluid, it is necessary to achieve such viscosity values that would be comparable with the viscosity of water. The residual gel with its incomplete destruction reduces the relative permeability of the fracture and blocks the flow of fluids to the well. This situation dictates the need to use additional cleaning measures during well development [20].

The formation of a filter cake on the surface of a fracture is one of those factors that adversely affects the fracture conductivity after a hydraulic fracturing operation. During this operation, the fracturing fluid seeps into the reservoir through the cracks and breaks it, located in the fracture under much higher pressure than in the reservoir. However, the relatively large size of the molecules of the cross-linked guar does not allow it to fall into the pore matrix, which leads to the formation of a dense polymer crust on the crack surface. The formation of a dense packing of the proppant at the closure of the crack, when pressure reduction is performed after the end of the fracturing operation, also has an effect. Closing the crack leads to an even greater increase in polymer concentration as a result of the additional displacement of water from the polymer network into the formation. Therefore, if the polymer remains intact, the formation of a super-viscous gel-like crust occurs, which blocks the pore space of the crack [21].

1.2 Colmatation of the pore space of the proppant pack during hydraulic fracturing with hydrocarbon-based fracturing fluids

The most common problem in this operation is the loss of asphalt-resinous and paraffin deposits (ARPD) in the bottomhole formation zone (BFZ). Organic deposits (paraffins and asphaltenes) are found in varying amounts in all types of crude oil. Thermobaric and geological and technical conditions of oil fields, as well as the nature and composition of oil determine the diversity of deposits. At the same time, both thermodynamic and kinetic aspects of the process of sediment dissolution should be

taken into account when removing these substances with solvents. It is also important that paraffins can be dissolved in organic solvents, and asphaltenes are not [18].

2 Identification of the processes of physical and chemical destruction of the polymer component of hydraulic fracturing

All processes of destruction can be divided into groups of physical and chemical processes. These two groups include the types of destruction, which will be discussed further in more detail.

2.1 Physical destruction

Processes related to the physical degradation of polymers occur under the influence of various physical factors (thermal, mechanical, photo and radiation destruction) [23].

2.1.1 Thermal destruction

When heated, polymers undergo a variety of transformations, accompanied by the formation of gaseous and liquid products, color change, etc.

The resistance of a polymer to thermal exposure determines its heat resistance. Typically, heat resistance is estimated by the temperature at which a marked decomposition of the polymer begins, by decomposition products, and by the kinetics of the process [23].

When the polymer is heated in some parts of the system, the energy of thermal motion becomes comparable with the energy of the chemical bond, and the bond is broken. It is obvious that a very important factor determining the heat resistance of a polymer is the magnitude of the binding energies between the atoms in the main chain.

The temperature of the polymer is affected by:

- presence of various elements in the macromolecule;
- increase the degree of branching of polymers;
- presence of substituents in the molecule.

2.1.2 Mechanical destruction

Mechanical destruction of polymers is a decrease in the molecular weight of polymers under mechanical stress caused by breaks of elastically deformed macromolecules. As far back as the thirties of the last century, G. Staudinger's research

showed that with repeated passing of polymer solutions through a capillary, their viscosity due to the destruction of macromolecules decreases [22].

Domestic and foreign scientists, continuing the work of G. Staudinger, found that the molecular breakdown during mechanical destruction leads to the formation of macroradicals, as a result of which the molecular weight and structure of the polymer change.

Mechanical destruction is one of the types of mechanochemical transformations of polymers and one of the most practically important types of degradation of polymers. Destruction occurs as a result of mechanical stresses that occur during mechanical loading of the polymer during processing or during operation. Macromolecule breaks can also occur when freezing aqueous solutions of polymers, under the action of ultrasound, etc. The destruction of macromolecules of linear and three-dimensional polymers in a viscous, highly elastic state, as well as macromolecules in dilute and concentrated solutions of polymers occurs under the action of relatively small stresses [22].

The main cause of mechanical destruction is the uneven distribution of stresses across individual bonds and the existence of "overstressed" sections of chains where the true loads are close to the ultimate tensile strength of chemical bonds. Overstresses occur due to differences in the direction and magnitude of the internal friction forces acting on individual segments of the polymer chains. In turn, the forces of internal friction arise under the action of a pressure gradient in a liquid medium. These forces are characterized by shear stress.

The degradation of a polymer chain during mechanical destruction is of a thermal-fluctuation nature, since the shear stress in the solution flow weakens the activation energy of a mechanical breaking of bonds. Increasing the temperature also weakens the activation energy. Thus, shear stress, which quantitatively reflects the forces of internal friction in a specific region of the polymer solution flow, acts as the main factor of mechanical destruction [22].

2.1.3 Photodestruction

The destruction of polymers can occur when they are illuminated with visible ($\lambda = 400\text{-}800\text{ nm}$) and especially ultraviolet ($\lambda = 180\text{-}400\text{ nm}$) radiation. Of particular importance is the illumination of sunlight containing ultraviolet radiation with $\lambda \geq 270\text{ nm}$. Absorption of light by polymer macromolecules leads to photoexcitation (the transition of electrons to non-bonding and loosening orbitals); then the bonds are broken (usually homolytic), i.e. the destruction begins.

Photochemical destruction is greatly facilitated if photosensitizers and photoinitiators are present in the polymer. Photosensitizers readily absorb light and transfer photoexcitation energy to polymer macromolecules. When illuminated, photoinitiators easily form radicals, which further initiate polymer degradation. Peroxides and azo compounds can serve as photoinitiators.

Photo stabilizers act in the opposite direction - compounds that slow down the photodestruction of polymers. Photo stabilizers easily absorb light radiation, however, unlike photosensitizers, they do not transfer photoexcitation energy to macromolecules, but emit it in the form of heat or low energy radiation. Thus, the photo stabilizers act as “interceptors” and “scatterers” of radiation [23].

2.1.4 Radiation destruction

Destruction occurs under the action of high-energy radiation on polymers - α , β , γ , and also X-ray. As with photodestruction, first the macromolecules are excited, and then the destruction, the paths of which are diverse: both a decrease in molecular weight (i.e., total destruction) and its increase due to crosslinking of terminal macroradicals are possible. On the other hand, using metered radioactive radiation, it is possible to carry out a useful modification of the polymer, for example, to increase heat resistance and chemical resistance [23].

2.2 Chemical destruction

Since crosslinking in the presence of a boron crosslinker occurs in an alkaline medium (pH range from 8 to 12 units), the destruction of the gel structures obtained, as well as the breaking of bonds between the polymer and boron, must occur in an

acidic medium. Therefore, all types of breakers, whose action is based on the principles of chemical degradation, are effective in an acidic or neutral environment [11, 23].

Chemical destruction is carried out by exposing the object under consideration with various chemical reagents. The number of reagents, the use of which is possible the implementation of these processes include:

- inorganic and organic acids;
- oxidizers;
- enzymes;
- biological destructors.

2.2.1 Destruction when processing inorganic and organic acids

The most rapid destruction of the fracturing gel will occur as a result of the acid treatment that follows this process. The action of acid solutions is based on hydrolysis processes. The range of temperature limits of applicability of this type of breakers is in the range from 45 to 120 ° C.

The most common variety of inorganic acids used in practice is hydrochloric acid solution with concentrations from 5 to 28% (mass.). This solution can be used alone or in conjunction with organic acids. However, the use of inorganic acids leads to many negative consequences associated, for example, with the active corrosion of equipment and the formation of a significant mass of insoluble sediment upon contact with the polymer and formation rocks.

The results obtained in [11] prove the assumption that when hydrochloric acid is added, the complex bonds between the polymer chains and boron are broken.

It is also necessary to take into account that acids destroy the proppant and can have a negative impact on the conductivity of the cracks obtained, therefore, it is necessary to develop special, “sparing” acid compositions for more complete destruction of the cross-linked polysaccharide gel [11].

Weak organic acids also find use as destructors, but if the acid is in contact with carbonate in the formation, the breaker will react with the formation earlier than with the fracturing fluid.

The disadvantages of all types of acids include the loss of reactivity upon dilution, neutralization, or premature reaction with the formation rocks and the polymer base of the fracturing fluid [24].

The disadvantage of weak acid solutions is the possibility of sedimentation of particles soluble at low pH values, but insoluble at pH values close to neutral. To eliminate this drawback, weak solutions of acids can be used together with chelate compounds [24].

2.2.2 Destruction by adding oxidizing agents

The group of oxidative-type destructors includes reagents such as hypochlorites, perborates, peroxides, and persulfates. Oxidizers react with biopolymers in the temperature range from 25 to 95 ° C.

The process of destruction with the use of oxidizing agents is that they “give up” oxygen, which chemically interacts and decomposes the polymer base of the fracturing fluid. It is also worth noting the fact that the reactivity of breakers of this type substantially decreases after the reaction [24].

Oxidants can be used as stand-alone destructors, or in conjunction with inorganic and organic acids (treatment stages or directly in mixtures).

The reaction rate of various oxidizing agents depends on the temperature. If the temperature of the reaction medium is less than 40 - 50 ° C, this process is rather slow. According to studies [11, 24], the reaction rate increases approximately 4 times with increasing temperature by 10 ° C.

The disadvantages of oxidizing agents include their corrosivity, the ability to react with clays, and also to form emulsions [24].

However, there are works in which the last of the above disadvantages (the formation of emulsions) is used for better destruction of hydraulic fracturing fluid. Thus, in [30], the authors propose the use of organic peroxides, give their possible compositions, as well as processing methods. The introduction of these substances is offered in the form of micro- and nano-emulsions.

The use of breakers in this form allows to refer them to a variety of internal fracture fluid fracturing. This means that the process of reducing the viscosity of the

cross-linked gel, as well as its complete destruction, is slow. The delay in fracture of the fracturing fluid allows it to maintain its high transport capacity, which significantly increases the efficiency of the hydraulic fracturing operation.

The authors of [30] state that the use of organic oxidizing agents in the form of micro- and nano-emulsions makes it possible to achieve a significant acceleration of the process of destruction of the polymer base of the hydraulic fracturing fluid. For this method, the time of destruction is from 1 to 16 hours, therefore, the authors of [30] note it in comparison with other means and methods of destruction of crosslinked fracturing gels, for which data the indicator most often exceeds 48 hours.

2.2.3 Enzyme degradation

Enzymes are known as natural catalysts for biological processes. These frac fluid breakers are large protein molecules that are made up of chains of amino acids. The simplest enzymes can contain less than 150 amino acids. At the same time, complex enzymes, which are the most typical representatives of this group of substances, according to various data, can consist of 400-500 amino acids [24].

This type of destructor is specific for certain groups of polymers. For certain types of enzymes, this property is expressed in the activation of the process of destruction only in the presence of a specific biopolymer in the reaction medium. At the same time, only this polymer is destroyed. For the destruction of another polymer requires the introduction of an additional amount of enzyme capable of reacting with it.

Depending on the type of reaction, the catalyst of which are enzymes, it is possible to distinguish the following types of them [9, 12]:

- oxidoreductases (catalyze redox reactions);
- transferases (contribute to the movement of an element of one molecule in the composition of another);
- hydrolases (catalyze the cleavage of the bond under the action of water);
- lyases (responsible for adding or removing a double bond);
- isomerases (activate intermolecular rearrangement);
- ligases (produce a combination of substrates).

This type of breakers has a catalytic effect on the degradation process of the biopolymer during the formation of the enzyme-substrate complex (Figure 3).

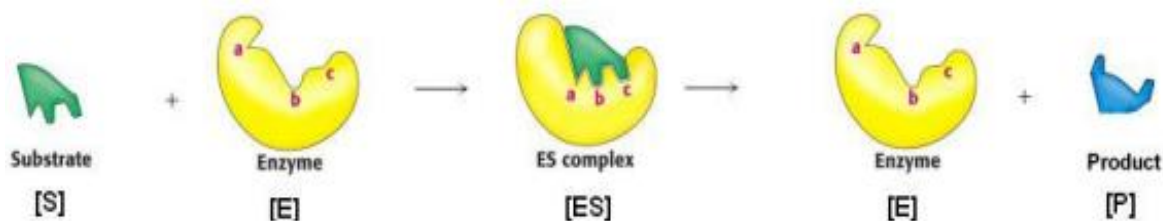


Figure 3 – Scheme of the catalytic action of enzymes [9, 12]

The advantages of enzymes include their corrosion safety, since they do not react with metals and, therefore, do not form insoluble precipitates with them, which can lead to an additional decrease in the fracture conductivity.

Another advantage of this type of breakers is their catalytic nature. Being in essence catalysts of the process of destruction, during its course, enzymes are practically not consumed. Therefore, they can effectively destroy biopolymer compounds until the operating conditions of the reaction medium are maintained [9, 24]. An example of a catalytic reaction involving enzymes is shown in Figure 4.

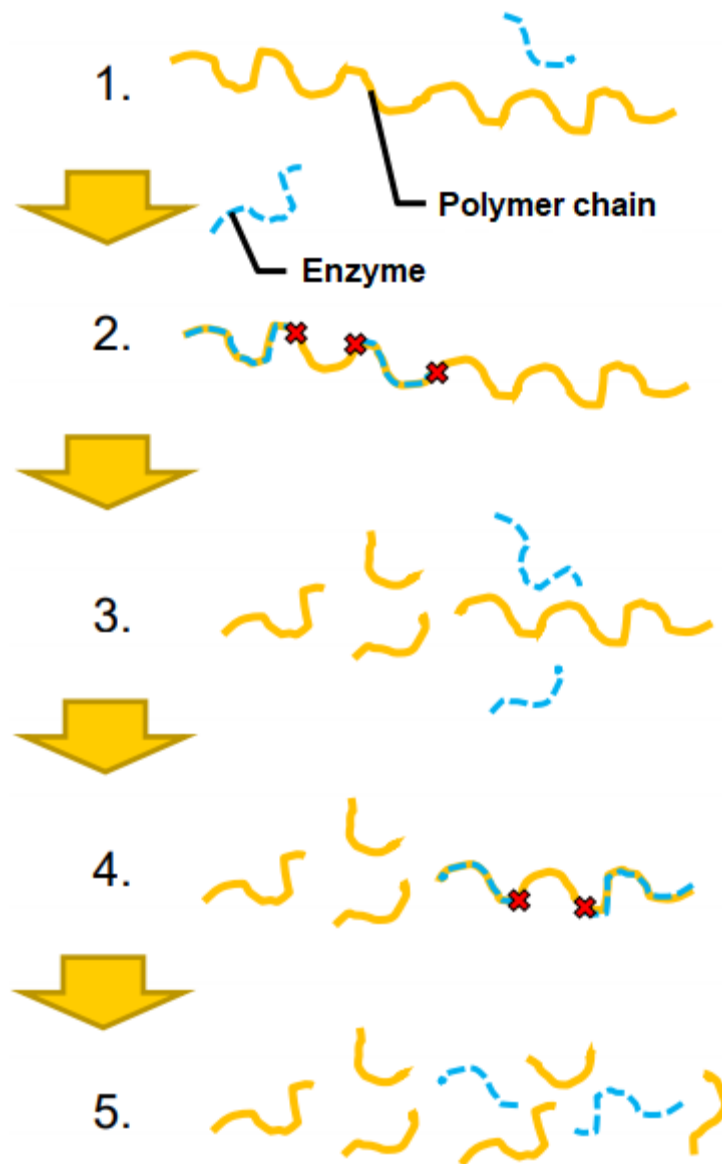


Figure 4 – Catalytic reaction with the addition of enzymes

The significant sensitivity of enzymes to the medium in which the destruction process takes place is one of the main disadvantages of these substances. Among the factors that determine the efficiency of enzymes, can be attributed a narrow temperature range of applicability (from 4 to 95 ° C). Another important factor in the use of enzymes in practice is a small working range for the pH of the reaction medium, ranging from 3 to 8 units, optimally 5 units [11].

There are works [9, 25, 26] of foreign researchers in the direction of assessing the effective use of enzymes as destructors of fracturing fluids. In [9], the possibility of using special polyelectrolytic complexes of nanoparticles as a means of enzyme

delivery and their protection from the early negative effects of the reaction medium was especially noted.

In the study [26], the idea of using mixtures of several enzymes destroying the structure of a crosslinked fracturing fluid based on guar and its derivatives in several ways is put forward. The first of these is the "cutting off" of the lateral galactose units. The second way is to break the main mannose chain into several parts. The third option also consists in acting on the mannose chain, however, it differs from the second one in the gradual detachment of the extreme mannose elements from the main chain.

2.2.4 Destruction by biological organisms

As part of chemical degradation, it is also possible to isolate degradation under the action of biological organisms – biological degradation (biodegradation). Biodegradation is carried out under the influence of enzymes, which are proteins produced by cells and tissues of living organisms, including microorganisms. Aerobic and anaerobic microorganisms whose enzymes break down biopolymers to simple sugars or fatty acids can be used for biodegradation [27].

The use of biological destructors differs from other methods, first of all, by the simplicity of the process, cheapness and environmental friendliness.

As active substances of biodestructors produced in the course of vital activity of mold fungi, organic acids act: fumoric, amber, malic, citric, gluconic, lactic, oxalic [31].

As mentioned above, along with organic acids, other important active substances produced by biodestructors are enzymes. To date, there are studies of the ability of the microbiota waste brewing, brewer's grains, to decompose the molecules of such polysaccharides as: carboxymethylcellulose, xanthan gum, guar gum [32].

The disadvantages of using biodestructors are the need for individual selection of different genera of microorganisms and fungi, their increased resistance to the harsh effects of the working environment. These conditions include elevated temperatures and pressures, significant alkalinity of the destroyed fluid, as well as the possible absence of air access to the work area [31, 32].

However, there is the possibility of avoiding the direct use of biological destructors, which is expressed in obtaining from them a pure destructor enzyme. In this case, the destruction will proceed according to a mechanism similar to that described previously for the treatment of a fracturing fluid with enzymes.

3 Efficiency of destruction processes

In the literature, we have identified types of destruction that are of the physical or chemical type. Next, we estimate the effectiveness of their possible use based on several comparison parameters. At the same time, it is necessary to make an assessment of all the varieties within each of the groups, and also to compare these two groups with each other.

3.1 Evaluation of physical destruction processes

As mentioned earlier, the processes of physical destruction include: thermal, mechanical, and radiation destruction, as well as photodestruction.

Based on the review of the literature, which covered issues relating to the processes of physical destruction, you can create a summary table 3. This table presents the data obtained in the evaluation of various types of physical destruction in some comparison parameters.

Table 3 – Comparison of various processes of physical destruction

Comparison option	Weight coefficient	Types of physical destruction			
		Thermal	Mechanical	Radiation	Photodestruction
Availability	0,12	6	5	1	1
Cost	0,12	5	5	1	1
Ease of implementation in reservoir conditions	0,08	8	3	1	1
Operating temperatures:	0,08				
< 40 °C		4	7	10	10
40-95 °C		8	8	10	10
> 95 °C		9	9	10	10
pH of fracturing fluid:	0,08				
< 7		10	10	10	10
7		10	10	10	10
> 7		10	10	10	10
Low destructor consumption during the reaction	0,09	8	8	8	8
Polymer breakdown rate	0,12	4	4	2	2
Minimum amount of sediment	0,12	1	1	1	1
Low corrosivity	0,07	9	9	9	9
Environmental safety	0,12	9	9	1	7
Final grade	1	6,4	5,9	3,8	4,5

Analyzing the resulting table, we can conclude that the most effective of the processes of physical destruction are thermal and mechanical varieties.

3.2 Evaluation of chemical destruction processes

Following the logic of 1.9.3.1, it is possible to create a summary table, which will reflect the comparison of all previously identified chemical degradation varieties in some comparison parameters. For each of the chemical degradation types considered above, a certain type of breaker will be responsible (Table 4).

Table 4 – Comparison of various types of chemical destruction

Comparison option	Weight coefficient	Types of chemical destruction				
		Acidic		Oxidative	Enzyme	Biological
		Inorganic acids	Organic acids	Oxidizers	Enzymes	Biodestructors
Availability	0,12	8	8	7	1	2
Cost	0,12	8	8	9	1	2
Ease of implementation in reservoir conditions	0,08	7	8	7	6	6
Operating temperatures: < 40 °C 40-95 °C > 95 °C	0,08	8	8	5	8	8
		9	9	8	5	8
		8	8	8	2	7
pH of fracturing fluid: < 7 7 > 7	0,08	9	9	6	9	5
		9	9	6	8	7
		8	8	5	3	5
Low destructor consumption during the reaction	0,09	1	1	1	9	7
Polymer breakdown rate	0,12	8	8	8	8	6
Minimum amount of sediment	0,12	1	5	5	8	5
Low corrosivity	0,07	1	6	5	9	9
Environmental safety	0,12	1	6	5	9	9
Final grade	1	5,2	6,7	6,1	6,1	5,7

The results of the evaluation of the data presented in Table 4 make it possible to isolate degradation with the addition of organic acids, oxidizing agents, and enzymes. However, destruction under the action of enzymes is associated with significant monetary costs for the purchase of enzyme breakers. Therefore, this type of destruction can be excluded from further consideration. At the same time, it can be said that acid and oxidative varieties of chemical degradation will be most effective.

3.3 Selection of the most effective destruction processes from the previously reviewed

In this section, you should take into account all the results that were previously obtained when evaluating the types of physical and chemical destruction. Once again, we note that the most effective are the following types of destruction: thermal,

mechanical, acidic and oxidative. For a simpler comparison of these species with each other, we will compile a summary table 5.

Table 5 – Comparison of different types of destruction

Comparison option	Weight coefficient	Types of destruction			
		Physical		Chemical	
		Thermal	Mechanical	Acidic	Oxidative
				Organic acids	Oxidizers
Availability	0,12	6	5	8	7
Cost	0,12	5	5	8	9
Ease of implementation in reservoir conditions	0,08	8	3	8	7
Operating temperatures: < 40 °C 40-95 °C > 95 °C	0,08	4	7	8	5
		8	8	9	8
		9	9	8	8
pH of fracturing fluid: < 7 7 > 7	0,08	10	10	9	6
		10	10	9	6
		10	10	8	5
Low destructor consumption during the reaction	0,09	8	8	1	1
Polymer breakdown rate	0,12	4	4	8	8
Minimum amount of sediment	0,12	1	1	5	5
Low corrosivity	0,07	9	9	6	5
Environmental safety	0,12	9	9	6	5
Final grade	1	6,4	5,9	6,7	6,1

Let us evaluate the results presented in Table 5. Acid-type chemical destruction is most effective in comparison with other degradation varieties. Further, the thermal, oxidative and mechanical type of the process of destruction of polymers are located in importance.

However, it is worth noting that in the process of fracturing operations, the thermal and mechanical types act as undesirable effects exerted by the external conditions of the work area. For example, thermal destruction manifests itself under conditions of a gradual increase in temperature to values characteristic of the reservoir. Mechanical destruction can be caused by a violation of the technology of hydraulic

fracturing, as well as the process of its pushing through the perforations in the production casing of small diameter.

All of the above leads to the conclusion that it is possible to consider two types of destruction of a chemical type: acidic and oxidative. Moreover, it is possible to combine them with each other, as well as to introduce and take into account thermal destruction, as an additional factor influencing the reservoir conditions on the process of destruction of polymers. It is also possible to separately consider the mechanical destruction as a means of assessing the stability of a crosslinked hydraulic fracturing fluid to high values of shear stresses.